

日 本 大 學
工 學 研 究 所 彙 報

第 5 號

目 次

	頁
単相三線式用バランサの模擬回路による実験的研究	今川 三郎・宮城 弘 1
ジェット飛行機の航続性能	木 村 秀 政 17
群馬県の工学的土性図	巻 内 一 夫 21
金属塩水溶液の流電作用による金属表面の変遷に 関する研究 (第3報)	安 房 信 輝 27
18-8 不銹鋼及びその溶接部の腐蝕の傾向に関する研究	山本 洋一・安房 信輝 33
偏微分方程式の電子計算法	武 田 楠 雄 39

昭和 27 年 10 月

U. of ILL. LIBRARY

AUG 7 1972

CHICAGO CIRCLE

JOURNAL OF THE RESEARCH INSTITUTE OF TECHNOLOGY,
NIHON UNIVERSITY.

NO. 5 Oct. 1952

CONTENTS

Experimental Study on the Balancer in the Single Phase Three Wire System	By Saburō IMAGAWA Hiroshi MIYAGI.....1
Cruising Performance of Jet Airplanes	By Hidemasa KIMURA..17
Engineering Soil Map of Gunma Prefecture	By Kazuo MAKIUCHI..21
A Study of the Changes on Metal Surface Caused by Electrolysis in Metallic Salt Solution (Report 3)	By Nobuteru AWA..27
Studies on the Corrosive Tendency of Eighteen-Eight Stainless Steel and it's Welded Parts	By Yōichi YAMAMOTO Nobuteru AWA.....33
Codings of Partial Differential Equations..	By Kusuo TAKEDA..39

These publications are issued at irregular intervals. The authors alone are responsible for the contents of these reports.

単相三線式用バランサの模擬回路 による実験的研究*

(1952年6月24日受理)

今川 三郎¹⁾ 宮城 弘²⁾

Experimental Study on the Balancer in the Single Phase Three Wire System

By Saburo IMAGAWA

Hiroshi MIYAGI

The single phase three wire system has a tendency to be adopted in Japan in order to decrease the voltage drops and the power losses in low tension distribution lines. In Japan, however, it is likely that voltage unbalances in running states and abnormal voltages in faulted states take place because of the actual conditions of loads and line constructions. To prevent these defects voltage balancers have been used in some lines recently. The balancer is a transformer with turn ratio of unity. Its two terminals of opposite polarity are connected to the neutral wire, and the other two terminals to the two line wires.

Generally speaking, the system equipped with balancers, although it is a radial one, forms a complicated network, and the analysis of the circuit will be very complex, if the original circuit itself be treated directly by the conventional method. To overcome this difficulty one of authors Imagawa has applied the method of symmetrical components in the two phase circuit, and he has taken the following type of transformation:

$$i_a = i + i' \quad i_b = i - i'$$

where i_a and i_b are the actual currents flowing in the two sides of a point of the original circuit, and i and i' are the new hypothetical currents which the author has called balanced and unbalanced component of current respectively. All the other currents and voltages also have been transformed similarly. Furthermore all the loads have been assumed to be constant current loads as those usually are done so in the calculation of the distribution circuit. Then the two sides of the original circuit are practically symmetrical, therefore the circuits of the balanced and unbalanced components are independent of each other. Thus the analysis of the circuit becomes very simple compared with the conventional method.

The author Imagawa has developed the analysis of the single phase three wire system equipped with balancers by this method, and he has made clear the phenomena in the running state and various faulted states of the system. He reported these results in the Journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan Vol. 71, No. 7 (1951).

In this paper authors report the experimental study on the balancer by an artificial circuit. Various experimental data have practical coincidence to the results of the theoretical calculation, and the balancer has expressed excellent characteristics for preventing defects of the single phase three wire system.

1. 配電部門における 現下の主要問題と 本研究の経緯

戦後種々の原因により我国の配電系統における電力損

失は著しく増大し、特に深刻なる電力不足の折柄、各方面で大きな問題になった。これが対策の重要性により、昭和23年度に文部省科学試験研究の要望課題となり、これに対して配電損失軽減専門委員会が設置され、各配電

*本研究は昭和26年度文部省科学研究費（各個研究）の補助により日本大学工学部において行つたものである。

1) 電気工学科教授 2) 同講師

会社及び関係方面の委員の協力により2箇年に涉つて活潑な研究が行なわれ所期の成果を収めて報告書を刊行した。損失軽減対策としては種々の方法があり、それぞれの有効な実施方法及び実際の各種の場合に適する方法の選択条件等が明らかにされたが、抜本的対策とも称すべきものは電気方式の変更を含む電圧上昇である。そのうち我国の実状からみて適切なるものは、低圧線にあつては単相三線式の採用であり、高圧線にあつては現行3kV 三相三線式の6kV への昇圧または5.2kV 三相四線式への変更である。後者についてはなお残された問題があり、これが解決を主たる目的として昭和25年に配電方式専門委員会が設置され、現在研究続行中である。またこれらの問題の本質を究めて行くうちに、長い間あまり変化がなかつた我国の配電部門には多くの検討を要する点のあることが認められた。これらに関連して現行電気工作物規程にも種々改正すべき点があり、その改正原案を作製するため本年初め電気工作物規程調査委員会が設置され現在活潑に検討中である。筆者の一人はこれらの各委員会の委員として、問題の解決に参与してきたが、ここに報告するのは以上の如き今日の配電部門の主たる問題の中の一つたる単相三線式回路におけるバランサの模擬回路による実験的研究についてである。

単相三線式が二線式に比し遙かに有利なるは周知の如くであり、現に諸外国において広く採用されているが、我国で従来これがあまり実施されなかつた主たる理由は次の如くである。即ち、我国は米国等と事情異なり、常時負荷の不均衡により電圧に不平衡を生ずるおそれがあり、また線路が細弱なるため断線短絡等の故障を生ずる機会も少なくなく、その際かなりの異常電圧を生ずる危険がある。しかし現在ではこれらの欠点に対しては何等かの対策を講じて単相三線式の採用を断行すべき段階に立到つている。この対策としては、バランサを設置する方法、または進んで二次パンキング方式を採用するのが有効である。然るにこれらの方式ではその回路が一般に複雑なる回線網をなすため、不平衡問題の回路解析を従来の如き直接的方法で行つては到底その煩に堪えず、実用的なる算定は困難である。これに対し筆者は我国で発展した並行二回線送電回路の解析法で採用している、いわゆる対称二相回路における対称座標法と同形の変数変換を施して不平衡問題を簡単に解く方法を提案した。その理論等については既に他に発表している(3)(4)(5)(6)から詳細はそれらを参照されんことを乞ひ、本文には重複を避け、本実験研究に直接関係ある部分についてのみ要点を記すに止める。本文の内容は筆者の提唱せる解析法に

より算定せるバランサ設置回路の諸特性を模擬回路による実験結果と比較対照しこの簡単なる算定法で実用上充分目的を達し得ることを示したものである。従来の直接的方法では大なる省略を施しても計算は複雑となり、而も誤差が大で結果の信頼性に不安が伴う。

尚二次パンキング方式は他にも種々の長所があり、我国では未だ一二箇所試験的に行なわれているのみであるが是非研究すべきものと思われる。これについては一部発表したのが続いて検討を加え度いと思つてゐる。

2. 平衡分回路と不平衡分回路

単相三線式線路の電圧線 a 及び b 側の電流 i_a 及び i_b に

$$i_a = i + i', \quad i_b = i - i' \quad (2.1)$$

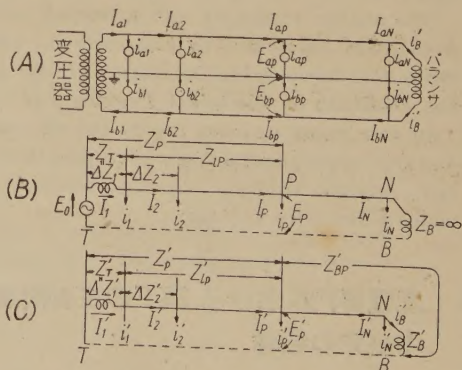
なる変換を施し、 i 及び i' をそれぞれ電流の平衡分及び不平衡分と称することにし、平衡分電流及び不平衡分電流の流れる回路をそれぞれ平衡分回路及び不平衡分回路と称することにする。他の電流電圧にもすべて(2.1)式と同形の変換を施す。負荷を一般配電回路解析の場合と同様に定電流負荷と假定すれば、この両回路は実用上対称回路となり、各を独立に取扱うことができる。

(2.1) 式から逆に

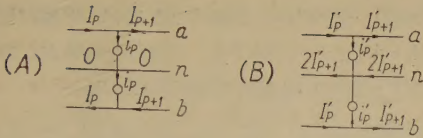
$$i = \frac{i_a + i_b}{2}, \quad i' = \frac{i_a - i_b}{2} \quad (2.2)$$

原回路電流(及び電圧)はそれぞれの対称分即ち平衡分と不平衡分との単なる和及び差である。

第1図にバランサ1台を設置せる線路(A)、及びその平衡分回路(B)、並びに不平衡分回路(C)を示す。(B)及び(C)図中の破線はインピーダンス0なる假想の中性線である。



第1図 (A) バランサ1台を設置せる線路
(B) 同上平衡分回路
(C) 同上不平衡分回路



第2図 (A) 平衡分回路
(B) 不平衡分回路

平衡分回路は第2図(A)に示す如く凡ての点 P において $i_{aP} = i_{bP} = i_P$, $I_{aP} = I_{bP} = I_P$ 等で即ち完全に平衡せる回路の a 線側を考えたものであり、不平衡分回路は第2図(B)に示す如く凡ての点において $i_{aP} = -i_{bP} = i_P'$, $I_{aP} = -I_{bP} = I_P'$ 等で即ち a 及び b 線を相等しい電流が流れ出し、これが合流して中性線を還流する回路の a 線側をとつたものである。なお中性線に流れ込む電流を i_{nP} , 中性線電流を I_{nP} とすれば

$$i_{nP} = 2i_P', \quad I_{nP} = 2I_P'$$

となる。次に不平衡分と平衡分の比

$$u_i = i'/i, \quad u_I = I'/I, \quad u_E = E'/E$$

をそれぞれ負荷電流、線路電流及び電圧の不平衡率と称することにする。

第1図中の Z_T , Z_R 及び Z_T' , Z_R' はそれぞれ変圧器及びバランサの平衡分及不平衡分回路のインピーダンスである。不平衡分回路は変圧器低圧側中性点 T で終つてゐるが、平衡分回路はさらに電源側に結ばれている。変圧器高圧側端子から見た電源側インピーダンスは実用上無視し得ることが多く、この場合は第1図(B)の変圧器加電圧 E_0 は無負荷電圧に等しい。電源側インピーダンスが無視し得ない場合も、これを変圧器の平衡分インピーダンス Z_T に加えれば同様に取扱ひ得る。

3. 常時の電圧電流分布

3.1 負荷不平衡に基く電圧不平衡

任意の一般的単相三線式線路の取る負荷点 P における電圧 E_{aP} , E_{bP} 及び変圧器中性点 T からのインピーダンス降下 v_{aP} , v_{bP} の平衡分及び不平衡分を E_P , E_P' 及び v_P , v_P' とすれば

$$\left. \begin{aligned} E_P &= E_0 - v_P, & E_P' &= -v_P' \\ E_{aP} &= E_0 - v_{aP} = E_0 - v_P - v_P' \\ E_{bP} &= E_0 - v_{bP} = E_0 - v_P + v_P' \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

即ち負荷に不平衡があれば電圧にも不平衡を生ずるが、それはインピーダンス降下の不平衡分 v_P' によつて定まる。

平衡分インピーダンス降下 v_P は、バランサの有無に

関せず平衡分負荷電流の分布によつて定まるが、 v_P' はバランサの有無によつて異なる。即ちバランサが無いときは v_P' は不平衡分負荷電流のみによるインピーダンス降下であるが、バランサがあると、バランサに流れる電流によるインピーダンス降下が重なり、普通の場合 v_P' が減少して電圧不平衡が軽減される。

3.2 バランサが無いときの電圧分布

第1図の如き場合の平衡分インピーダンス降下は

$$v_P = \sum_{\lambda=1}^P I_{\lambda} 4Z_{\lambda} = \sum_{\lambda=1}^P Z_{\lambda} i_{\lambda} + Z_P \sum_{p=1}^N i_{\lambda} \quad (3.2)$$

ここに i_{λ} は任意の負荷点 λ ($=1, 2, 3, \dots, N$) における負荷電流の平衡分, $Z_{\lambda} = Z_T + Z_{1\lambda}$ は変圧器中性点 T から λ 点までの平衡分インピーダンス, $Z_{1\lambda}$ は変圧器端子 ($\lambda=1$) から λ 点までの線路の平衡分インピーダンス, I_{λ} 及び $4Z_{\lambda}$ は $\lambda-1$ と λ との間の線路電流及びインピーダンスの平衡分である。

次にバランサが無いときの不平衡分インピーダンス降下 v_{P0}' は v_P と同形で

$$v_{P0}' = \sum_{\lambda=1}^P I_{\lambda}' 4Z_{\lambda}' = \sum_{\lambda=1}^P Z_{\lambda}' i_{\lambda}' + Z_P' \sum_{p=1}^N i_{\lambda}' \quad (3.3)$$

但し(3.3)式の諸量は第1図の例の如く、それぞれの平衡分に対応する不平衡分である。バランサが無い場合の電流分布は(3.2)式、及び(3.3)式を $v_P' = v_{P0}'$ とし(3.1)式に入れて求められ、電圧不平衡の程度は(3.3)式からわかる。

3.3 バランサの電流及び機能

バランサ設置点 N におけるバランサが無いときの不平衡分電圧 $E_{N0}' = -v_{N0}'$ は(3.3)式で $P=N$ とおいたものである。この N 点にのみバランサを入れれば、これに流れる電流 i_B' は

$$i_B' = \frac{E_{N0}'}{Z_N' + Z_R'} = \frac{-v_{N0}'}{Z_s'} = -\frac{1}{Z_s'} \sum_{\lambda=1}^N Z_{\lambda}' i_{\lambda}' \quad (3.4)$$

但し $Z_s' = Z_N' + Z_R' = Z_T' + Z_{1N}' + Z_R'$ は i_B' が流れる不平衡分回路の直列インピーダンスであり、 Z_{1N}' はこの回路の線路の全インピーダンスである。

バランサが無ければ不平衡分回路も平衡分回路と同様に開放されており、その直列インピーダンス Z_s' は無限大である。バランサの役目はその小なる Z_B' により、この開放されている不平衡分回路を閉じるにある。これにより E_{N0}' を短絡し、バランサ取付点及びその附近の電圧平衡を図るものである。しかしてバランサの平衡分インピーダンス Z_B は実用上無限大とみなし得るから、バランサをおいても平衡分回路は依然として実用的には

開かれたまゝで、その直列インピーダンスは

$$Z_s = Z_T + Z_{LN} + Z_B \rightarrow \infty$$

であり、従つてバランサの有無は常時の平衡分回路には無関係である。

3.4 バランサがある場合の電圧電流分布

バランサがある場合の電流及び電圧の分布は、バランサが無いときの分布にバランサ電流 $i_{B'}$ 、及び $i_{B'}$ が流れるために生ずる電圧分布を重疊したものであるが、後者の分布には平衡分回路は無関係である。第1図の如き場合の $v_{P'}$ は (3.3) 式の $v_{P_0'}$ に $i_{B'}$ による降下 $Z_{P'} i_{B'}$ を加えたものであるから電圧分布も直ちに求められる。

3.5 実験回路

本研究は第1図の如き線路で次の如き定数を有するものゝ模擬回路を作製し、これについて実験した。

各部定数：一

変圧器：10kVA ($2 \times 105V \times 47.6A$)

バランサ：1kVA ($100V \times 10A$)

電線太さ：電圧線 $5mm\phi$ 、中性線 $3.2mm\phi$

線間距離： $D_{an} = D_{bn} = 500mm$

$$D_{ab} = 1000mm$$

線路直長：200m ($5 \times 40m$ 径間)

各部インピーダンス：第1表の如しとする。

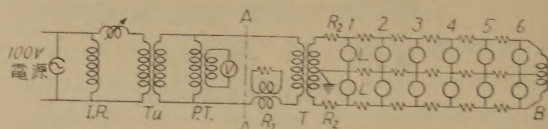
第1表の如きインピーダンス値の場合、本章及び次章の故障計算の代表的な例につき、リアクタンス分を正しくとつた場合と、これを無視した場合とを比較してみたところ、その差は比較的僅かであつたので、本文の計算例は簡単のためすべてリアクタンス分を無視した場合を示す(5節参照)。

上例の線路で完全平衡平等分散定格負荷、力率1の状態における電圧降下は変圧器内 2.38V、線路 4.31V 合計 6.69V ($=6.36\%$) となる、また送電端電流密度は $2.0A/mm^2$ である。

第1表 各部インピーダンス (Ω) (50c/s)

	平 衡 分	不 平 衡 分
変圧器 (75°C)	$Z_T = 0.050 + j0.030$	$Z_{T'} = 0.025 + j0.015$
線路全長(20°C)	$Z_{LN} = 0.181 + j0.079$	$Z_{LN'} = 1.065 + j0.212$
TよりN点まで	$Z_N = 0.231 + j0.109$	$Z_{N'} = 1.090 + j0.227$
バランサ(75°C)	$Z_B \rightarrow \infty$ (約 $j75$)	$Z_{B'} = 0.160 + j0.040$
全 直 列	$Z_s \rightarrow \infty$ (約 $j75$)	$Z_{s'} = 1.250 + j0.267$

上例の如く変圧器から一方にのみ線路が出ている(いわゆる片荷)のは明かに不経済であるが、実際には変圧器が 20kVA (または 30kVA) で同様な線路が二方(または三方)に出ている場合も略同様である。



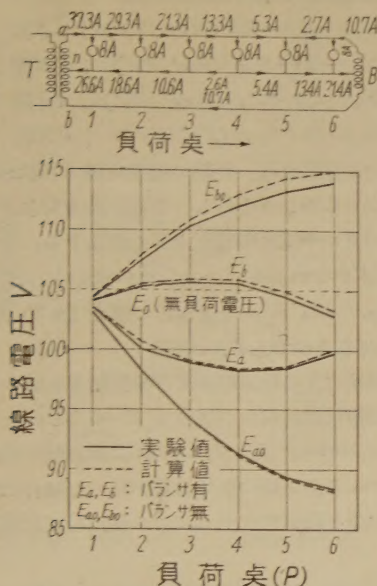
- I.R. : 单相誘導電圧調整器 (容量 25kVA, 一次電圧 100V)
 Tu : 单相柱上変圧器 (5kVA 規格品)
 P.T. : 計器用変圧器 (0.2 級, 定格負担 15VA, 横河 PT-1 型)
 R₁ : 直列挿入抵抗用変圧器
 T : 単三用柱上変圧器 (JIS 規格品 3kVA 日立製)
 R₂ : 直列挿入抵抗
 B : バランサ (100VA 相当手製品)
 L : 白熱電球負荷

第3図 実験回路

本実験を行つた回路は第3図の如くである。模擬回路(A—B間)のインピーダンスはすべて実回路の値即ち第1表の値の10倍にした。即ち模擬回路の電流が実回路のそれの 1/10 になるとき両回路の電圧が等しくなるようにした。線路抵抗は $1.2mm\phi$ のマンガニン線で作し、リアクタンス分は省略した。单相三線式変圧器 T は 3kVA のものを使用したためそのインピーダンスが合致しないので、その平衡分インピーダンス Z_T 及び不平衡分インピーダンス $Z_{T'}$ を共に第1表の値の 10 倍にするために一次側に(変圧器により)抵抗 R_1 を、二次側には両側電圧線に等しい抵抗 R_2 を挿入した。模擬負荷にはすべて白熱電球を使用した。この模擬回路の端子 AA の電圧は計器用変圧器 P.T. の二次側電圧計で読み、実験中常に T の定格電圧 3,150V に保つた。それには 100V 電源から高圧を得るために用いた普通の柱上変圧器 Tu の低圧側に誘導電圧調整器 I.R. を入れ、それによつて調整した。模擬バランサ B の無負荷電流は約 0.09A (0.9A 相当) で抵抗は略第1表の10倍に合つた。その他の詳細の点は紙面の都合上省略するが測定の見誤差には充分

注意した。10kVA 変圧器の定格電流は $2 \times 47.6A$ であるが、簡単のため平衡全負荷状態を $2 \times 48.0A$ とし、平等分散全負荷のとき両側各 6 箇所の各負荷点の負荷電流を 8.0A とした。これに対する模擬負荷としては 40W 標準電球を 2 箇所づつ並列に入れた。各負荷電流は極力平均するように組合せたが 100V で平均約 0.77A で 0.80A より稍少なかつたが、実験結果は実回路で 8.0A の定電流負荷と假定しての計算結果と比較した。その他の実験でもすべて実験結果は、その負荷電球の定格電

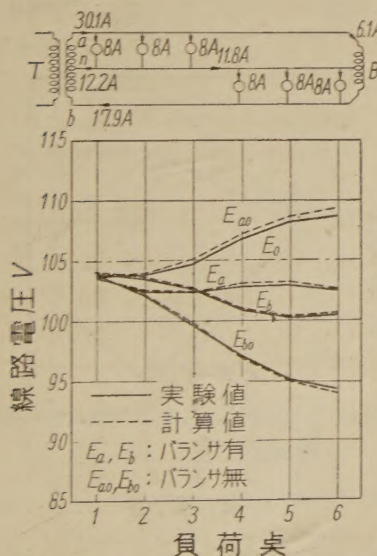
流に等しい定電流負荷と仮定しての計算値と比較した。
両者の不一致の一因はこの点にもあるわけである。



第4図 負荷不平衡に基づく電圧不平衡 (1)

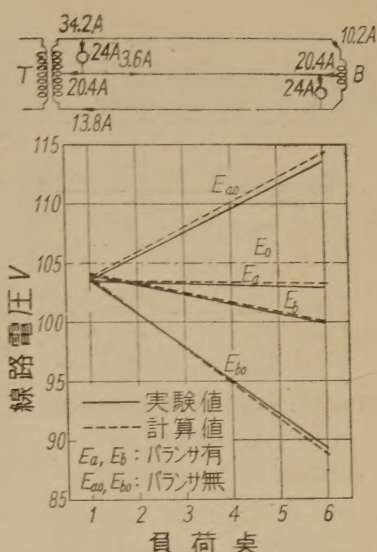
a 線側 平等分散全負荷 $6 \times 8A$
b 線側 無負荷 (下平衡率 100%)

註. 回路図に記入せる電流分布の数値はすべて計算値. 以下同じ.



第5図 負荷不平衡に基づく電圧不平衡 (2)

a 線側 前半平等分散全負荷後半無負荷
b 線側 前半無負荷後半平等分散全負荷



第6図 負荷不平衡に基づく電圧不平衡 (3)

a 線側 送端集中半負荷
b 線側 末端集中半負荷

3.6 不平衡負荷時の実験と計算

第4~6図は極端なる不平衡負荷の代表的な二三の場合について、本解析法によつて計算した結果と実験結果とを示す。負荷状態は各図上部の回路図に示す。図中に記入せる線路電流の値はバラッサが有る場合の計算値である。線路電圧の実験値はすべて実線で、計算値はすべて破線で示す(以下同)。これらの例のように極端な不平衡負荷の場合でも、バラッサがあれば両側電圧 E_a , E_b の不平衡は実用上支障無い程度に緩和される。バラッサが無ければ電圧不平衡は図の E_{a0} , E_{b0} の如く大になる。

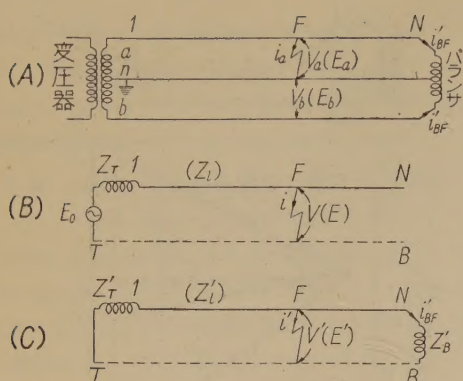
4. 故障時の電圧電流分布

4.1 短絡 (電圧線と中性線との混觸)

第7図(A)の如き線路の任意の点 F において短絡が起つたとする。同図(B)及び(C)はそれぞれ(A)の平衡分回路及び不平衡分回路を示す。図には負荷電流の記入はすべて省略してある。 F 点の短絡前の電圧を E_a , E_b 短絡時の電圧を V_a , V_b 短絡電流を i_a とし、それらの対称分をそれぞれ E , E' , V , V' 及び i , i' とすれば(第7図参照)

$$\begin{aligned} V &= E - Zi \\ V' &= E' - Z'i' \end{aligned} \quad (4.1)$$

但し $Z (=Z_F)$ 及び Z' は短絡点からみた平衡分及び不平衡分インピーダンスである。第7図の如き場合は



第7図 (A): a 線中線間短絡時の回路

(B): (A) の平衡分回路

(C): (A) の不平衡分回路

$$Z' = \frac{Z_{FP}' Z_{BF}'}{Z_{FP}' + Z_{BF}'} = Z_{FP}' - \frac{Z_{FP}'^2}{Z_s'}$$

ここに Z_{BF}' は B 点からバランサを経て F 点に至る不平衡分インピーダンスである。

いま F 点において a 側電圧線と中性線とが短絡し、その短絡抵抗が R であったとすれば故障条件は

$$\left. \begin{aligned} V_a &= R i_a \text{ 及び } i_b = 0 \text{ 即ち} \\ V + V' &= R(i + i') \\ i - i' &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

故に (4.1) 及び (4.2) 式より

$$i = i' = \frac{E_a}{Z + Z' + 2R} \quad (4.3)$$

短絡電流は

$$i_a = \frac{2E_a}{Z + Z' + 2R} \quad (4.3)$$

a 及び b 側電圧は

$$V_a = \frac{2R}{Z + Z' + 2R} E_a \quad (4.5)$$

$$V_b = E_b + \frac{Z' - Z}{Z + Z' + 2R} E_a \quad (4.6)$$

短絡点における故障電流及び電圧は以上の如くであるが、故障の際の線路の各点における電流電圧の分布は、故障発生前の分布と、故障電流及びそれによって生ずる電圧分布とを重ねたものである。まずバランサを流れる故障電流 i_{BF}' 及び変圧器を流れる故障電流の不平衡分 i_{TF}' は

$$\left. \begin{aligned} i_{BF}' &= -(Z_{FP}' / Z_s') i' \\ i_{TF}' &= (Z_{BF}' / Z_s') i' \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

これらの故障電流分布により線路の各点に生ずる電圧の平衡分は、故障点より変圧器側即ち負荷点 1 ないし F 間では $-Z_{FP}' i$ であり、バランサ側即ち F~N 間では平衡

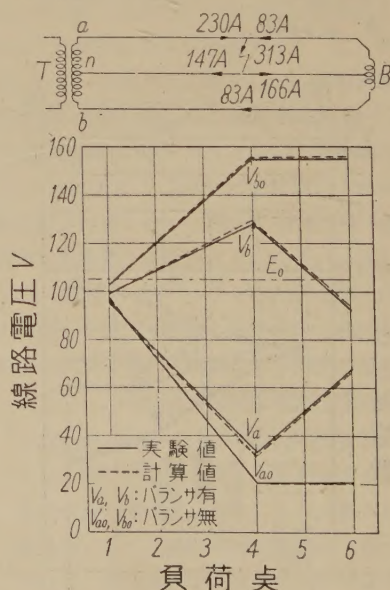
分電圧降下はなく F 点の値 $-Z_i$ に等しい。不平衡分は 1~F 間では $-Z_{FP}' i_{TF}'$ 、F~N 間では $Z_{BF}' i_{BF}'$ である。故に故障の際の電圧分布は

$$\left. \begin{aligned} V_{aP} &= E_{aP} - Z_{FP}' i - Z_{FP}' (Z_{BF}' / Z_s') i; \text{ 1 F 間} \\ // &= E_{aP} - Z_i - Z_{BF}' (Z_{FP}' / Z_s') i; \text{ F N 間} \\ V_{bP} &= E_{bP} - Z_{FP}' i + Z_{FP}' (Z_{BF}' / Z_s') i; \text{ 1 F 間} \\ // &= E_{bP} - Z_i + Z_{BF}' (Z_{FP}' / Z_s') i; \text{ F N 間} \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

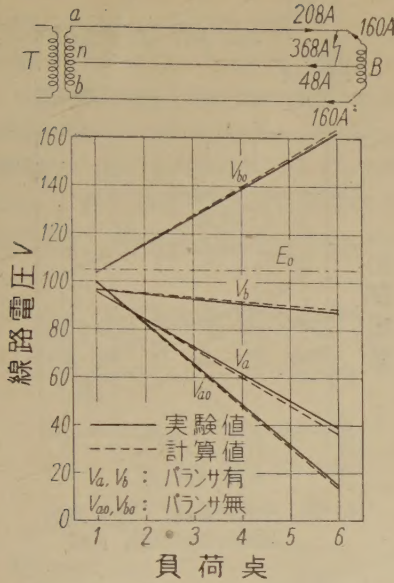
バランサが無ければ、短絡の際健全線 b 側の電圧が常規電圧よりもかなり上昇し、負荷に障害を与える惧があるが、バランサはこの電圧上昇を抑圧する。その程度は (4.8) 式からわかる。バランサが無いときは同式で $Z_{BF}' = Z_{BF}' = Z_s' = \infty$ とし、 i の値を (4.3) 式で $Z' = Z_{FP}'$ とせるものである。

以上の解法による計算結果及び実験結果を第8~12図に示す。短絡抵抗は何れの場合も $R=0.100\Omega$ とした。これは太さ 2mmφ、長さ約 2×9m の硬銅線の抵抗に当り、即ちかゝる引込線の先で短絡が起つた場合に略相当する。(以下短絡抵抗はすべてこの値にして比較に便にする)。

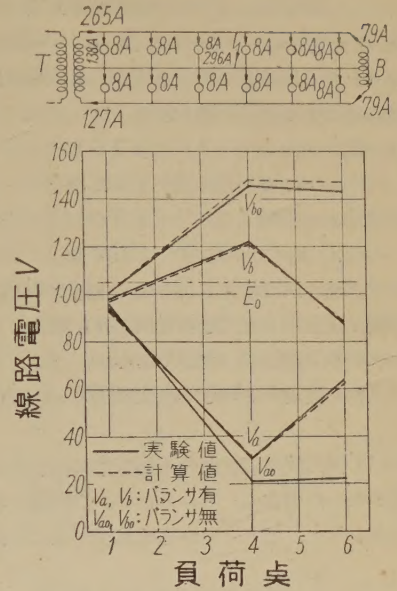
第8及び9図は故障前無負荷の場合で、短絡点は各図の上部に示す如くそれぞれ $F=4$ 及び $F=6$ (末端) である。第10図は比較のため各負荷点で短絡が起つた場合の電圧分布を合せ記したものである。第11図は故障前全



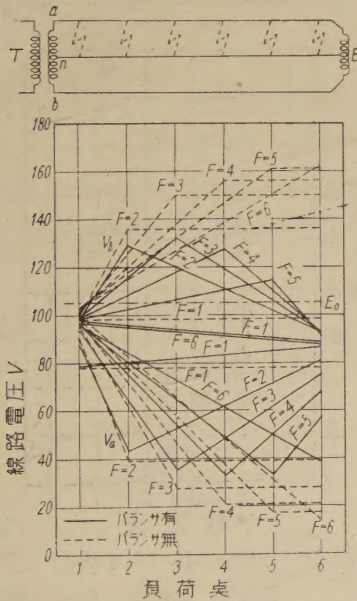
第8図 短絡(電圧線と中性線との混触)時の電圧電流分布。短絡点 $F=4$ 。故障前無負荷短絡抵抗 $R=0.100\Omega$ 。以下同じ。



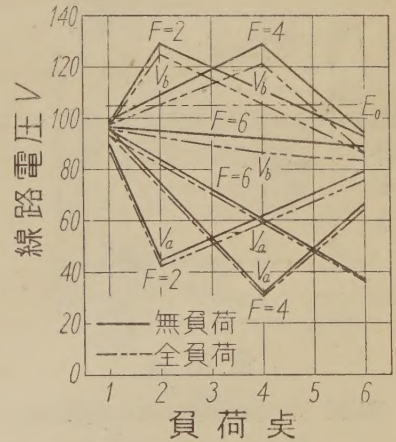
第9図 短絡. $F=6$, 故障前無負荷



第11図 短絡. $F=4$, 故障前全負荷
(完全平衡平等分散)



第10図 短絡点の相連による電圧分布の比較
 $F=1\sim6$, 故障前無負荷



第12図 短絡. 故障前負荷の有無による電圧分布の比較 $F=2, 4, 6$

負荷の場合であり、第12図は短絡前負荷の有無の影響を故障点 $F=2, 4, 6$ につき比較したものである。

4.2 中性線断線

任意の点 D において中性線が断線せるときは平衡分回路には関係なく、不平衡分回路が D 点にて開かれた

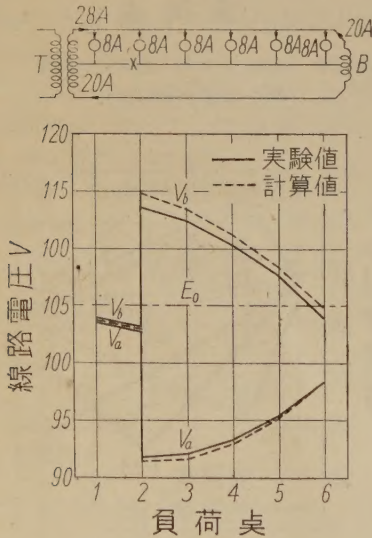
ことになる。この時断線端間に表われる電圧(降下)を e' とし、断線前 D 点を流れていた不平衡分電流を I' ($=I_n/2$, I_n は D 点の中性線電流)とすれば、 $e' = Z_s' I'$ である。故に断線による故障電流及び電圧の分布は D 点において不平衡分回路に直列に定電流源 $-I'$ (端子電圧 $-e' = -Z_s' I'$) を挿入したときの分布である。故にバランサには断線により新たに $-I'$ が加わって流れ、これが不平衡分回路中を直列に流れる。このため

各点にインピーダンス降下による電圧 $Z_P'I'$ が表われ、
 この他に D 点よりもバランス側には $-e' = -Z_s'I'$ が
 加わる。これらを断線前の電圧分布 E_{aP} , E_{bP} に重ね
 れば、断線後の電圧分布が得られる。即ち

$$\left. \begin{aligned} V_{aP} &= E_{aP} + Z_P'I' && ; 1D \text{ 間} \\ // &= E_{aP} + Z_P'I' - Z_s'I' && ; DN \text{ 間} \\ V_{bP} &= E_{bP} - Z_P'I' && ; 1D \text{ 間} \\ // &= E_{bP} - Z_P'I' + Z_s'I' && ; DN \text{ 間} \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

バランスが無ければ断線点より先の線路の一方には、
 負荷不平衡の度合により大なる電圧上昇を来することがあ
 り、これが単相三線式の欠点であるが、バランスを設
 置すればこれを実用上支障ない程度に防ぐことができる。

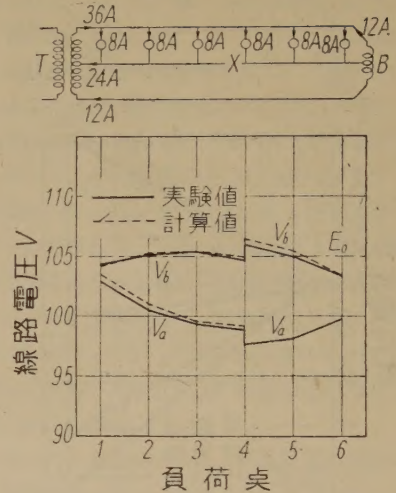
第 13~15 図は故障前各図の上部回路図に示す如き不
 平衡負荷があつた場合に、それぞれの点で断線せる場合
 の電圧分布を示す。バランスが無ければ一方に負荷があ



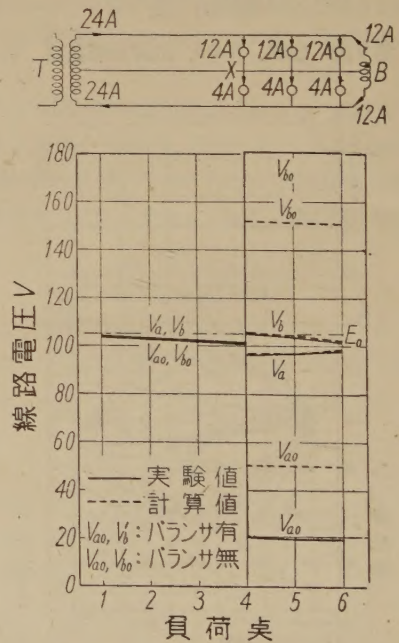
第13図 中性線断線時の電圧電流分布
 断線点 $D=2$ 直前
 故障前, a 側平等分散全負荷
 b 側無負荷

り他方が無負荷なるときは断線点より先の負荷側電圧は
 0, 無負荷側は 210V 迄上り得る。第15図の如く両方に
 負荷があるときは稍低いが不平衡負荷により可成の電圧
 に上る。しかるにバランスがあれば電圧上昇は問題にな
 らない。

バランスが無い場合は定電流負荷の仮定はもとより成
 立しない。第15図のバランスが無いときの計算値は定抵
 抗負荷と仮定しての結果であるがやはり実際との不一致



第14図 中性線断線, $D=4$ 直前
 故障前負荷状態, 同前



第15図 中性線断線 $D=4$ 直前

故障前 a 側後半 50% 過負荷
 b 側後半 50% 軽負荷

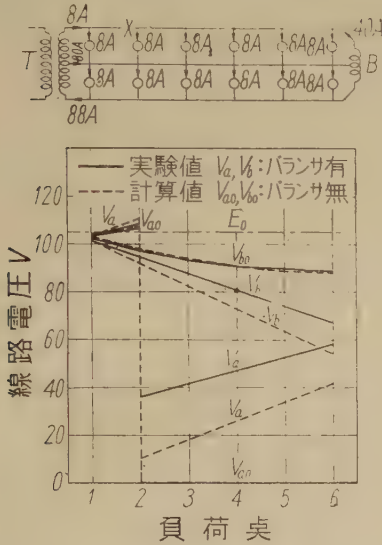
が甚しい。従つてこのように極端に不平衡でバランスが
 無い場合の算定には負荷の非直線特性を用いねばなら
 ぬ。

4.3 電圧線断線

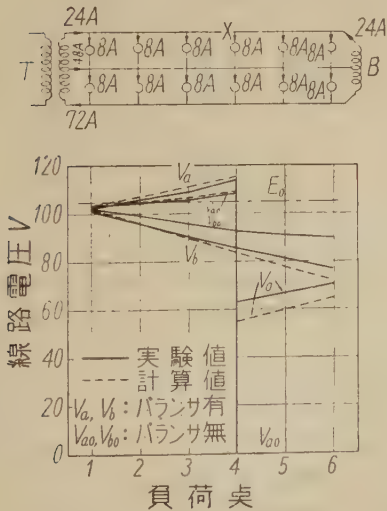
a 側電線が D 点で断線せるときの線路電圧分布は本
 解析法により、次のように得られる。

$$\left. \begin{aligned} V_{aP} &= E_{aP} + Z_P' I_a && ; 1D \text{ 間} \\ V_{aP} &= E_{aP} + Z_P' I_a - 2Z_s' I_a && ; DN \text{ 間} \\ V_{bP} &= E_{bP} - Z_P' I_a && ; 1N \text{ 間} \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

但し I_a は故障前断線点を流れていた電流である。この場合は線路の大部分が電圧降下を来し、断線点より変圧器側の断線側のみ若干の電圧上昇を生ずるが問題になる程ではない。第16図第17図は全負荷状態でそれぞれ $D=2$ 及び $D=4$ で断線せる場合を示す。



第16図 電圧線断線、断線点 $D=2$ 直前
故障前全負荷 (完全平衡平等分散)

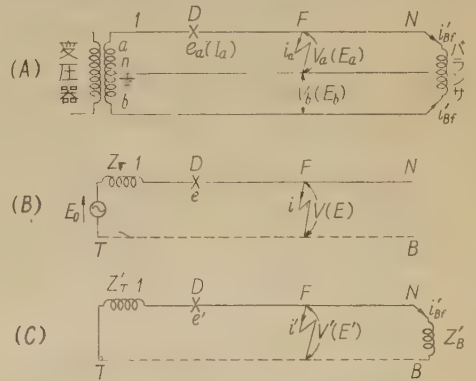


第17図 電圧線断線 $D=4$ 直前
故障前負荷同前

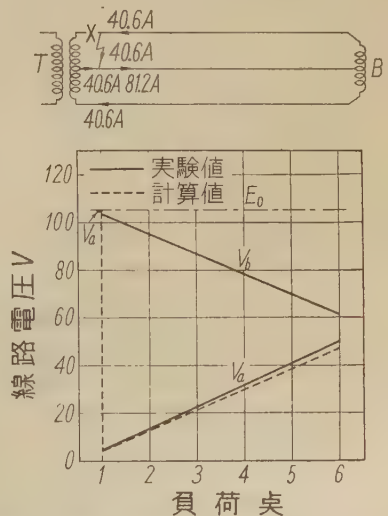
4.4 電圧線短絡及び断線二重故障

電圧線断線の場合、断線端が大地に垂下すれば同一点での断線地絡の二重故障になる筈であるが、普通の場合地絡点の抵抗が大なるため単なる断線の状態と殆んど変わらないであろう。しかしバランサにヒューズを入れない方式で、短絡により変圧器の低压側ヒューズの方が切れた場合は異つた地点での短絡と断線との二重故障の状態になる。

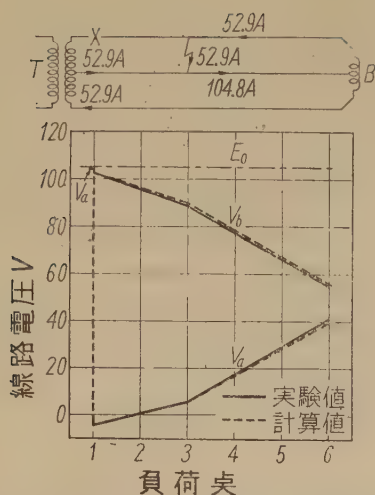
いま第18図(A)に示す如く、一般的に任意の点 F において a 線と中性点とが故障抵抗 R を通して短絡し、同時に F 点よりも変圧器側の任意の点 D において a 線が断線した二重故障の場合を考える。この場合の短絡



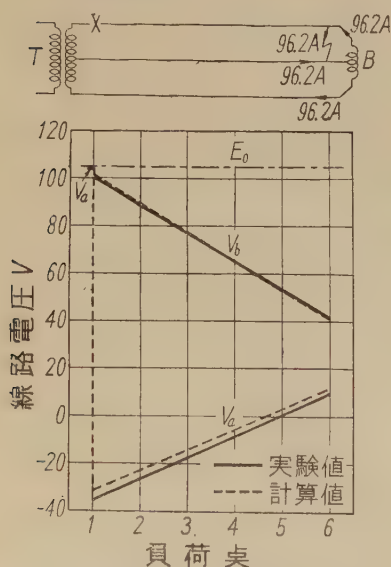
第18図 (A): a 線短絡変圧器側断線時の回路
(B): (A) の平衡分回路
(C): (A) の不平衡分回路



第19図 電圧線短絡 T 側断線 $F=D=1$
故障前無負荷



第20図 電圧線短絡 T 側断線 $F=3, D=1$
故障前無負荷



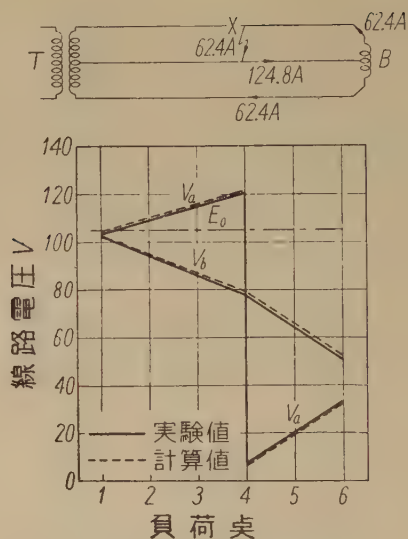
第21図 電圧線短絡 T 側断線 $F=6, D=1$
故障前無負荷

電流 $i_a = i + i'$, バランサに流れる故障電流 $i_{BF'}$, 断線端間に表われる電圧(降下) e_a 及び線路電圧分布は次のようになる。

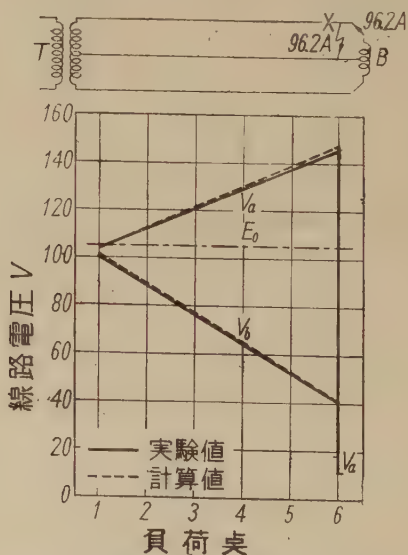
$$i = i' = \frac{E_a - (2Z_s' - Z_F')I_a}{Z_F' + (4Z_s' - 3Z_F') + 2R} = \frac{i_a}{2} \quad (4.11)$$

$$i_{BF'} = -(i_a + I_a) = -\frac{2E_a + (Z_F + 2R - Z_F')I_a}{Z_F + (4Z_s' - 3Z_F') + 2R} \quad (4.12)$$

$$e_a = 2Z_s'I_a + (2Z_s' - Z_F')i_a \quad (4.13)$$



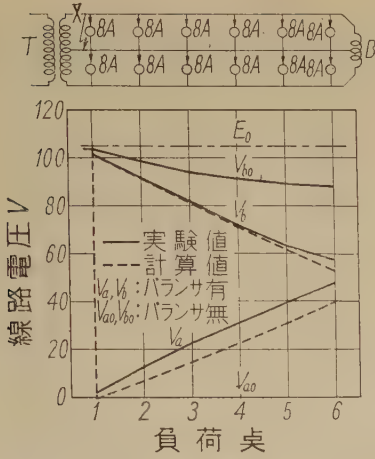
第22図 電圧線短絡 T 側断線 $F=D=4$
故障前無負荷



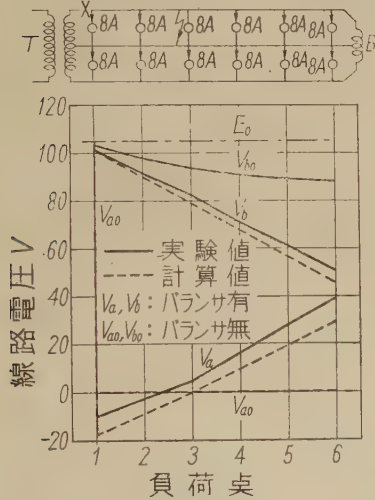
第23図 電圧線短絡 T 側断線 $F=D=6$
故障前無負荷

$$\left. \begin{aligned} V_{aF} &= E_{aF} - Z_F i + Z_F' (I_a + i) && ; 1D \text{間} \\ // &= E_{aF} - Z_F i + Z_F' (I_a + i) - e_a && ; DF \text{間} \\ // &= E_{aF} - (Z_F + Z_F') i + Z_F' (I_a + 2i) - e_a && ; FN \text{間} \\ V_{bF} &= E_{bF} - Z_F i - Z_F' (I_a + i) && ; 1F \text{間} \\ // &= E_{bF} + (Z_F' - Z_F) i - Z_F' (I_a + 2i) && ; FN \text{間} \end{aligned} \right\} \quad (4.14)$$

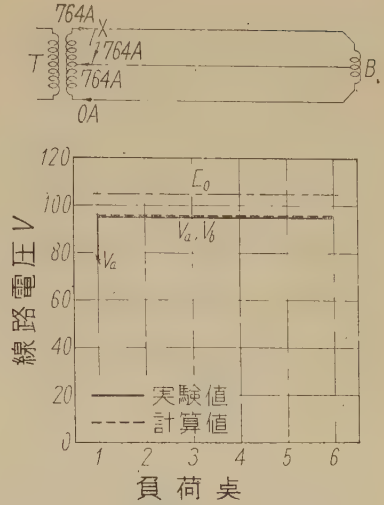
第 19~23 図は無負荷の場合, 第 24~25 図は負荷ある



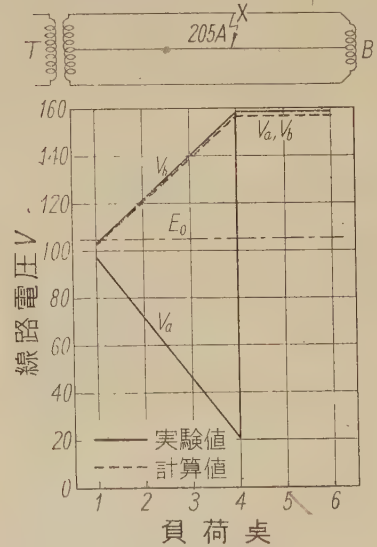
第24図 電圧線短絡 T 側断線 $F=D=1$ 直前故障前全負荷



第25図 電圧線短絡 T 側断線 $F=3, D=1$ 直前故障前全負荷



第26図 電圧線短絡 B 側断線 $F=D=1$ 故障前無負荷



第27図 電圧線短絡 B 側断線 $F=D=4$ 故障前無負荷

場合の例を示す。

次に以上とは反対に断線点 D が短絡点 F よりもバランサ側なるときも同様にして求められ、それぞれの式に対応して次の如く得られる。

$$i=i'=\frac{E_a+Z_{F'}I_a}{Z_F+Z_{F'}+2R}=\frac{i_a}{2} \quad (4.11)'$$

$$i_{BF}'=-I_a \quad (4.12)'$$

$$e_a=2Z_s'I_a-Z_{F'}i_a \quad (4.13)'$$

$$V_{aP}=E_{aP}-Z_F i-Z_{F'}(i-I_a) \quad ; 1F \text{間}$$

$$// = E_{aP}-Z_F i-Z_{F'}i+Z_{F'}I_a \quad ; FD \text{間}$$

$$// = E_{aP}-Z_F i-Z_{F'}i+Z_{F'}I_a-e_a \quad ; DN \text{間} \quad (4.14)'$$

$$V_{bP}=E_{bP}-Z_F i+Z_{F'}(i-I_a) \quad ; 1F \text{間}$$

$$// = E_{bP}-Z_F i+Z_{F'}i-Z_{F'}I_a \quad ; FN \text{間}$$

第 26～30 図はこの場合の例を示す。

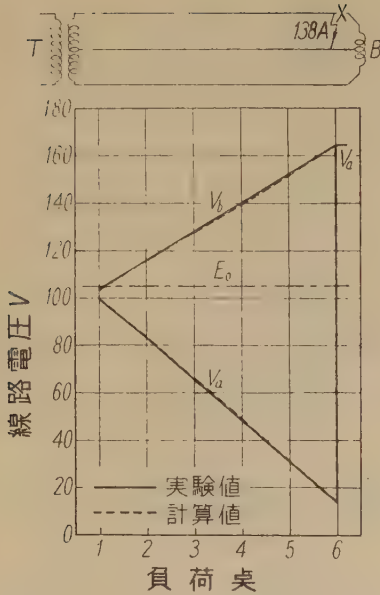
4.5 中性線断線短絡二重故障

第31図(A)に示す如く F 点において中性線が断線し、そのバランサ側が a 側電圧線に触れて短絡せる場合の短絡電流 $i_a=i+i'$ 、バランサに流れる故障電流 i_{BF}' 、断線端間に表われる電圧降下 e' 、及び線路電圧分布は

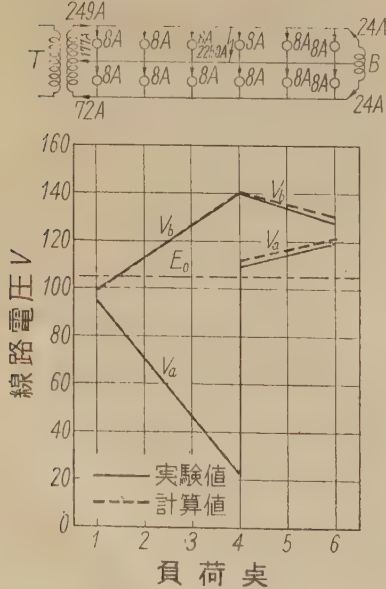
$$i=i'=\frac{E_a-Z_{BF'}I'}{Z_F+Z_{BF'}+2R}=\frac{i_a}{2} \quad (4.15)$$

$$i_{BF}'=-(i'+I')=-\frac{E_a+(Z_F+2R)I'}{Z_F+Z_{BF'}+2R} \quad (4.17)$$

$$e'=Z_s'I'+Z_{BF'}i \quad (4.17)$$



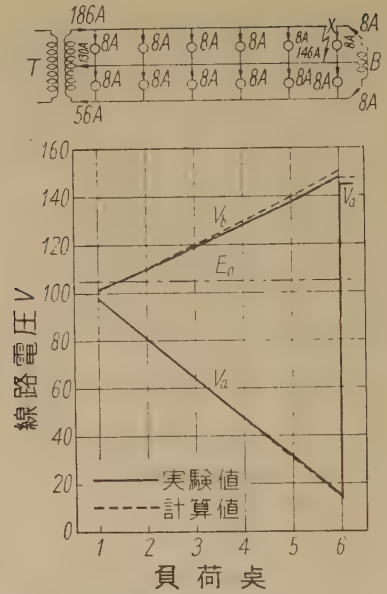
第28図 電圧線短絡 B 側断線 $F=D=6$ 故障前無負荷



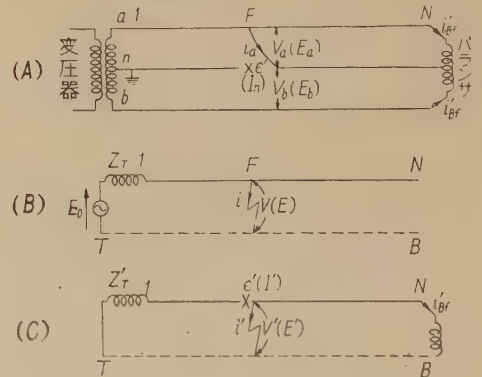
第29図 電圧線短絡 B 側断線 $F=D=4$ 直前故障前全負荷

$$\left. \begin{aligned} V_{aF} &= E_{aF} - Z_F i + Z_P' I' && ; 1 F \text{ 間} \\ // &= E_{aF} - Z_F i - Z_{BP}' (i + I') && ; FN \text{ 間} \\ V_{bF} &= E_{bF} - Z_F i - Z_P' I' && ; 1 F \text{ 間} \\ // &= E_{bF} - Z_F i + Z_{BP}' (i + I') && ; FN \text{ 間} \end{aligned} \right\} \quad (4.18)$$

第32~34 図は故障前無負荷の場合, 第35 図は全負荷



第30図 電圧線短絡 B 側断線 $F=D=6$ 直前故障前全負荷



第31図 (A) 短絡中性線変圧器断線
(B) (A) の平衡分回路
(C) (A) の不平衡分回路

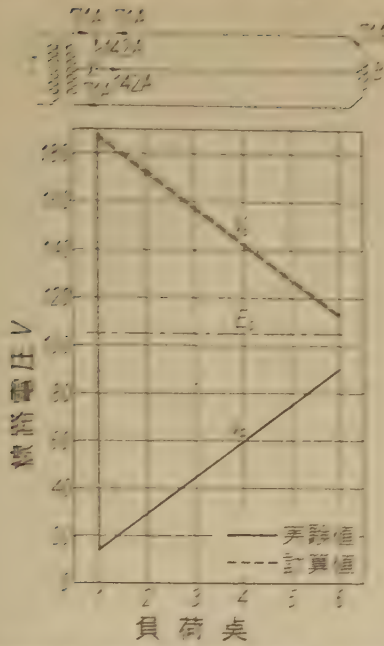
の場合を示す。図からわかるようにバランスが無ければ故障点から末端までの部分は一般に約2倍の電圧に上昇して危険があるが, バランスを設置すればこの電圧上昇を相当緩和し得る。

次に中性線が断線して変圧器側が短絡せる場合も以上と同様にして求められ, それぞれの式に対応して次の如くなる。

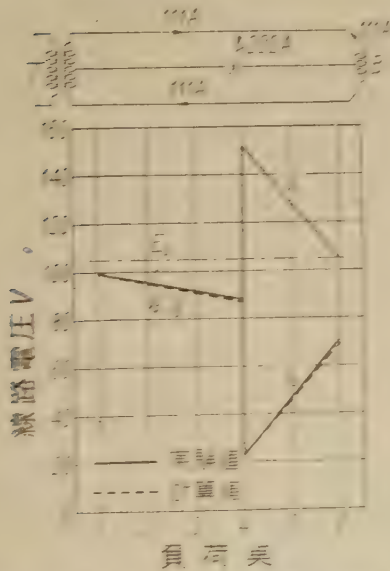
$$i = i' = \frac{E_a + Z_F' I'}{Z_F + Z_F' + 2R} \quad (4.15)'$$

$$i_{RF}' = -I' \quad (4.16)'$$

$$e' = Z_F' I' - Z_F' i \quad (4.17)'$$

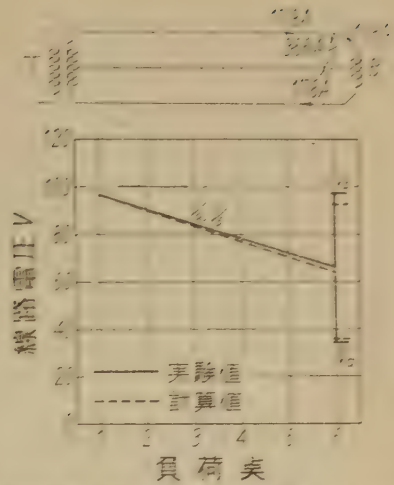


第32図 短絡中性線 T 側断線 $F=D=1$
故障前無負荷

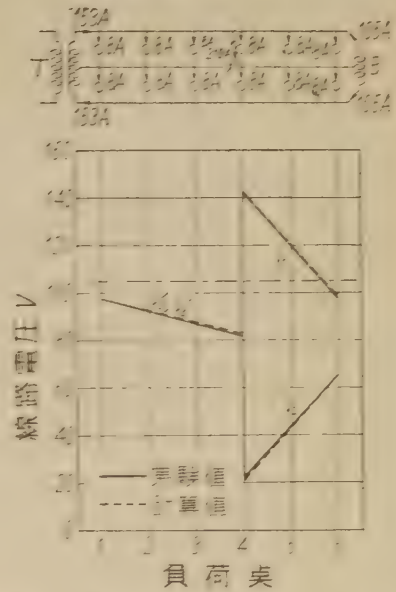


第33図 短絡中性線 T 側断線 $F=D=4$
故障前無負荷

$$\begin{cases} V_{AP} = E_{AP} - Z_P i - Z_P' (i - I') ; 1F \text{ 間} \\ I' = E_{AP} - Z_P i - Z_{BP}' I' ; FN \text{ 間} \\ V_{BP} = E_{BP} - Z_P i + Z_P' (i - I') ; 1F \text{ 間} \\ I' = E_{BP} - Z_P i - Z_{BP}' I' ; FN \text{ 間} \end{cases} \quad (4.18)'$$



第34図 短絡中性線 T 側断線 $F=D=6$
故障前無負荷

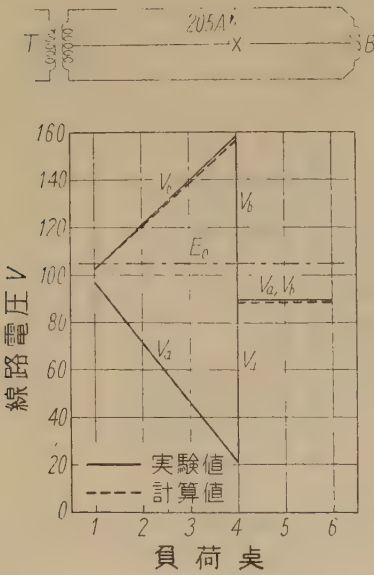


第35図 短絡中性線 T 側断線 $F=D=4$ 直前
故障前全負荷

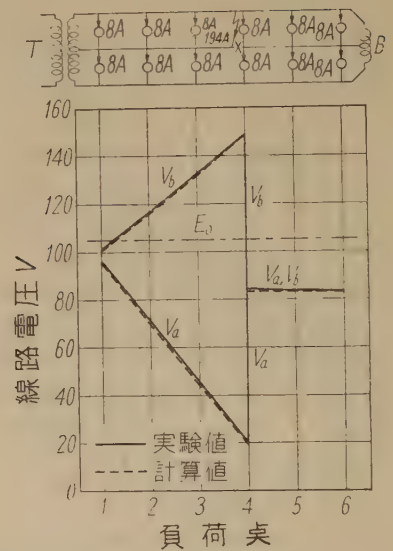
この場合の例を第 36~39 図に示す。

5. 理論と実験との比較検討

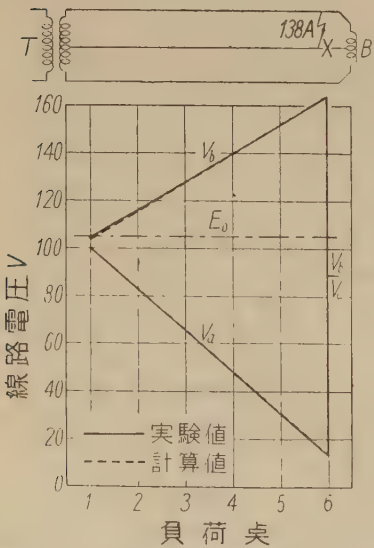
一般に配電線には多数の負荷が分散して存在するから、各負荷を一定インピーダンスで代表させて計算により電流電圧分布を求めることは実際には不可能に近い。故に一般に配電回路の計算ではすべて負荷はその電圧は問わずに負荷電流のみ（位相基準は送端電圧）により表



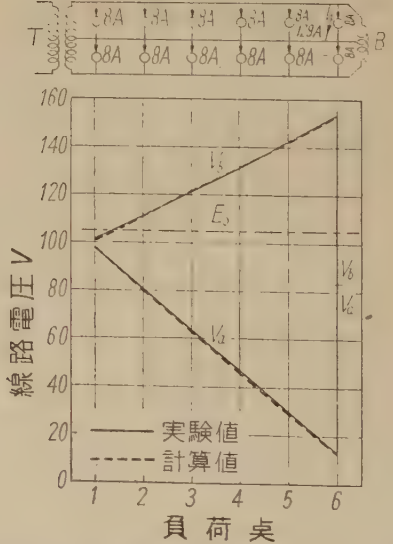
第36図 短絡中性線 B 側断線 $F=D=4$ 故障前無負荷



第38図 短絡中性線 B 側断線 $F=D=4$ 直前故障前全負荷



第37図 短絡中性線 B 側断線 $F=D=6$ 故障前無負荷



第39図 短絡中性線 B 側断線 $F=D=6$ 直前故障前全負荷

わしているが、これはとりもなおさず負荷を定電流負荷として取扱かつていることに当る。本報告の解析法でもこの一般的方法を採つており、従つて負荷が不平衡でも（その等価インピーダンスは無限大なる故）回路自身は対称と仮定されるから対称分法を用いて簡単に算定し得るのである。

我国の低圧単相配電線の負荷は電灯が多く、普通のガ

ス入電球は大体 70~130V では、定抵抗及び定電流の仮定によるそれぞれの電流計算値の、実際の電流値に対する差は正負はほぼ同数値になる。電圧が更に高くなると定電流仮定の方が誤差少なく、低いと反対になる。従つて負荷定電流の仮定によれば、故障時に特に低電圧になる部分の負荷電流値及びそれによる電圧降下を除いては、定電流仮定とは桁違いに煩雑なる計算を要する定抵抗負

荷の仮定に基づき計算値の程度以上の誤差は生じない。

本解析法による計算値と実際の値との差は一に定電流負荷の仮定に基づくものである。従つて無負荷時には誤差を生ぜず、負荷が重い場合程誤差が出て来るが、然し前記の実験結果からわかるように負荷があるときでも多くの場合誤差は実用上問題になる程ではない。只重負荷時に大電流が流れている部分の電圧線断線の場合は第16図及び第17図にみられるように相当の誤差を生ずることがある。これは断線点からみた等価直列インピーダンスが負荷の等価インピーダンスにより減少するのを無視することによるものである。電圧線断線を含む二重故障の場合にも第24図及び第25図の如く或程度の誤差を生ずることがあるが、これも上記の関係を念頭におけば予測し得る。然し何れにしてもこれらの場合は電圧降下を生ずる場合であり、障害を起すおそれのある電圧上昇を来す場合ではないから実用上は大して問題でない。短絡故障及び中性線断線により電圧上昇を来す場合は第11図及び第13図等からわかるように負荷定電流仮定による誤差は少なく且つ安全側へ来る。即ち計算値が実際の電圧上昇値よりも稍高く出る。

尚バランサが無いときの断線事故の場合は負荷定電流の仮定はもとより成立せず負荷の非直線特性より求めねばならぬ。

次に理論的計算においてリアクタンス分を無視した場合と、これを考慮した場合との結果を代表的な場合について比較すれば第2～5表の如くである。第2表は負荷

第2表 負荷不平衡に基づき電圧不平衡の例
a 側平等分散全負荷 $6 \times 8A$
b 側無負荷

バランサ有無	負荷点 P	a 側電側		b 側電圧	
		$|\dot{E}_{aP}|$	$E_{aP}|_{x=0}$	$|\dot{E}_{bP}|$	$E_{bP}|_{x=0}$
無	1	103.20	103.20	104.40	104.40
	2	98.24	98.22	107.94	107.94
	3	94.29	94.23	110.77	110.76
	4	91.33	91.23	112.89	112.89
	5	89.37	89.24	114.30	114.30
	6	88.39	88.25	115.01	115.01
有	1	103.47	103.47	104.13	104.13
	2	100.78	100.76	105.39	105.39
	3	99.08	99.05	105.94	105.94
	4	98.38	98.34	105.78	105.78
	5	98.68	98.68	104.94	104.92
	6	99.95	99.91	103.35	103.34

註 バランサ電流 $|\dot{i}_B'| = (-)10.71$
 $i_B'|_{x=0} = -10.70$

$|\dot{E}_{aP}|, |\dot{E}_{bP}|$ はリアクタンス x を考慮した計算値
 $E_{aP}|_{x=0}, E_{bP}|_{x=0}$ は x を無視した計算値

第3表 短絡時電圧電流

$F=1, R=0.100\Omega$ 故障前無負荷

	バランサ有		バランサ無	
	x 考慮	x 無視	x 考慮	x 無視
短絡電流 i_{aF}	74.8	765.	754.1	764.
バランサ電流 $i_{BF'}$	-8.49	-7.65	—	—
a 側電圧 V_{a1}	75.48	76.5	75.41	76.4
V_{a0}	83.72	84.7	同上	同上
b 側電圧 V_{b1}	94.69	95.9	94.87	95.4
V_{b0}	86.20	87.1	同上	同上

第4表 中性線断線時電圧分布の例 $D=2$ 直前

故障前 a 側平等分散全負荷

b 側無負荷

負荷点 P	a 側電圧 V_{aP}		b 側電圧 V_{bP}	
	x 考慮	x 無視	x 考慮	x 無視
1	103.70	103.70	103.90	103.90
2	102.98	102.98	103.18	103.18
2	91.43	91.35	114.81	114.80
3	91.71	91.62	113.37	113.37
4	92.97	92.89	111.23	112.23
5	95.23	95.21	108.42	108.39
6	98.47	98.42	104.84	104.83

註 バランサ電流 $9.29-j0.035A$ (x 無視 $9.30A$)

断線端間電圧 $\dot{e}' = 11.62+j2.44V$ (x 無視 $11.63V$)

第5表 電圧線断線時電圧分布 $D=2$ 直前

故障前全負荷 $I_a=40A$

負荷点 P	短絡側電圧 V_{aP}		b 側電圧 V_{bP}	
	x 考慮	x 無視	x 考慮	x 無視
1	103.60	103.60	101.62	101.6
2	110.67	110.67	91.75	91.6
2	23.89	10.67	同上	同上
3	27.21	18.0	82.25	82.0
4	32.07	25.6	73.15	72.6
5	38.07	33.6	63.77	63.5
6	44.93	41.9	56.21	54.7

註 断線端間電圧

x 考慮 $\dot{e}_{aD} = 100.00+j21.36V$

x 無視 $\dot{e}_{aD}|_{x=0} = 100.0V$

不平衡に基づき常時の電圧不平衡の例(第4図), 第4表は中性線断線による電圧不平衡の例(第13図)であるが, これらの場合その差が僅少なることは始めから予想されるが計算の結果も実験誤差範囲の程度の差しか無い。第3表の短絡の場合の例では僅かの差が認められるが大したことではない。只第5表の電圧線断線の例(第16図)では断線点以降附近の断線側電圧には相当の差が出るが他の部分は僅かである。また誤差の大なるは低電圧の部分のみであるから実用的には問題でない。これらの結果からも負荷電流の無効分が大でないときは回路定数のリアクタンス分を無視しても実用上支障がないことがわかる。

なお短絡断線の二重故障は短絡の熱のために断線するか, 又は初め断線しその一方が他線と混触するかして起る同一点での二重故障が普通であり, 何れにしても稀なことであるが, この場合バランサが無いときは次のようになる。電圧線が中性線と混触し変圧器側が断線せるときは断線の場合と同様である。このときバランサ側の断線ならば故障線 a 側の DN 間が無負荷なる場合の短絡と同様であるが只 DN 間の V_a は 0 になる。この場合はバランサの有無で余り差異はない。次に混触時に中性線の変圧器側が断線すると無負荷ならば

$$1D \text{ 間では } V_a = V_b = E_0$$

$$DN \text{ 間では } V_a = 0 \quad V_b = 2E_0$$

となり, 負荷があつても近似的に同様である。この場合はバランサがあれば $V_b = 2E_0$ なる電圧上昇を抑圧して有効に作用することは前述の通りである。この際断線がバランサ側ならば

1D 間は短絡のみと略同様

DN 間は V_a/V_b は断線のみと略同様なれど V_a, V_b 共に断線の場合よりは低い, この場合はバランサの有無で余り変りはない。

結 言

以上主として実験結果に関連して述べたが, 紙面の都合上意を盡せなかつたから詳しくは他の文献等も参照されて検討されんことを乞う次第である。本実験及び計算には安田正行, 昌仁也, 石垣一夫, 伊東恵祐の諸君の手をわずらわしたことを深謝する。

参 考 文 献

- (3) 今川; 電気連合大会講演予稿 No. 5. 3(昭和25—11)
- (4) 今川; 電気学会雑誌 71. 7 (昭26—7)
- (5) 今川; OHM 38. 6, 8 (昭26—6, 7)
- (6) 今川; 電気連合大会講演論文集 No. 5. 3(昭26—11)
- (7) 今川; 電気連合大会講演論文集 No. 6. 33(昭27—5)

ジェット飛行機の航続性能

(1952年6月11日受理)

木 村 秀 政¹⁾

Cruising Performance of Jet Airplanes

By Hidemasa KIMURA

In this paper discussing the cruising performance of jet airplanes, the author's attention is focused on the comparison with that of piston-engined airplanes. Deriving some simple formulas, he presents the following conclusions.

(1) As for the specific fuel consumption, it is generally stated that jet engines are inferior to piston engines, but it is not always true. As the flying speed increases above the critical value (about 1,000 km/h), the specific fuel consumption of jet engines, when expressed in kg per equivalent shaft h.p. per hour, is lower than that of piston engines, and decreases with flying speed.

(2) For piston-engined airplanes, the best range is obtained at maximum c_L/c_D , while for jet airplanes "specific range" (km per kg of fuel) is given by the formula,

$$x = 14.4 \frac{c_L^{1/2}}{c_D} \sqrt{\frac{W}{S\sigma}} \frac{1}{b_T W}$$

where

W = total weight of an airplane (kg)

S = wing area (m^2)

σ = specific air density

b_T = specific fuel consumption of a turbo-jet (kg/kg/h)

As the specific fuel consumption does not vary markedly with speed or altitude, the specific range is best at maximum $c_L^{1/2}/c_D$, and depends also upon wing loading and flight altitude. It is noticeable that the range of jet airplanes is greatly improved when flying at very high altitude

(3) For jet airplanes, the best range is obtained with $c_L = \sqrt{c_{D0}/k}$, when the drag of an airplane is expressed as $c_D = c_{D0} + kc_L^2$. It means that jet airplanes cruise best with the speed 1.3 times higher than that of their piston-engined predecessors.

1. まえがき

ターボジェットを装置した飛行機の航続性能は、一般にプロペラ機より劣るというのが、今日の常識になつてゐる。現在ターボジェットを装備している機種が、戦闘機、軽爆撃機など、比較的航続性能を問題にしないものに限られ、一方、航続性能や搭載量を重視する輸送機、重爆撃機等の機種が、今なお主としてプロペラ機である事実を考えれば、少くとも現在では、この“常識”を一応肯定しなければならぬであろう。

しかし、よく調べてみると、これはジェット機の発達過程に於ける過渡的な現象に過ぎないのであつて、ジェット機が航続性能に於いて到底プロペラ機に及ばないという宿命的な欠陥は何一つ見出せないのである。むしろ

設計条件によつては、今日でも航続性能に於てプロペラ機より有利なジェット機を作り得るのであつて、現に、本年始め試飛行を行つたボーイング YB-52 型やコンベア YB-60 型は、航続距離 15,000km 以上と伝えられる米国空軍次期の重爆撃機であるが、これは完全なジェット機なのである。

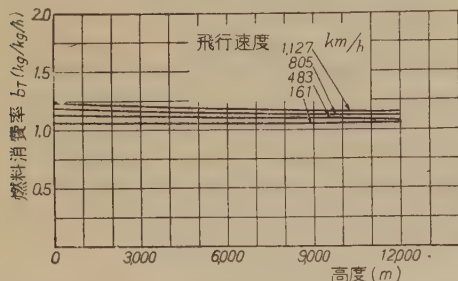
筆者はこの問題について、以前から関心を持ち、乏しい資料をもとにして、一般的な考察を試みて来たが、今度ようやく発表の自由を得たので、これまでの結果を纏めて、今後の研究の一路程とすることにした。なお本文に関する数値計算は主として松崎政夫君が担当した。

1) 日本大学工学部機械工学科教授

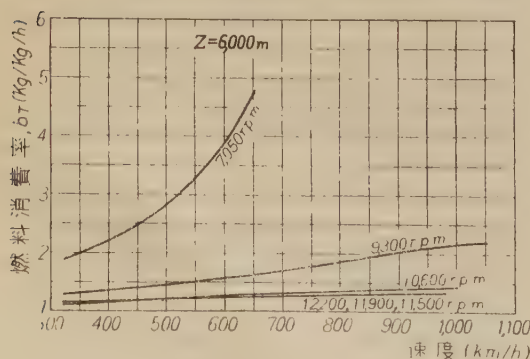
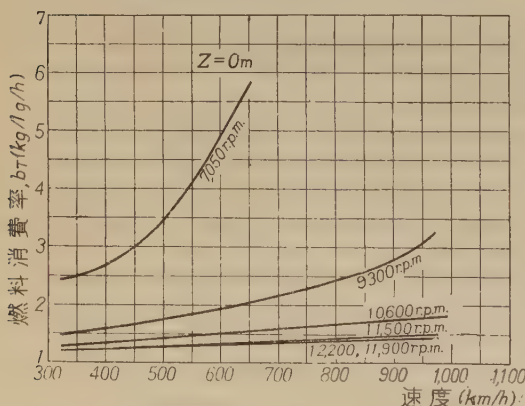
2. ターボジェットの燃料消費率

ジェット機の航続性能の基礎をなすものは、ターボジェットの推力 1kg 当り毎時消費率 (kg/kg/h) である。

その値は、タービン回転数、飛行機の数、高度などの函数であるが、その関係を一般的に表示することは困難なので、一例としてロールスロイス・ニーン型ターボジェット遠 (心一段圧縮機、圧縮比 4:1、静止推力 12, 200r. p. m. で 2270kg) の型録値を整理して第1~2図



第1図 ロールスロイス・ニーン型ターボジェットの燃料消費率の高度による変化 (全開)



第2図 ロールスロイス・ニーン型ターボジェットの燃料消費率の飛行速度による変化

に示す。これによると、最大の50%以上の高出力では、燃料消費率の速度及び高度による変化は極めて少いことがわかる。

3. ピストン式發動機との比較

ピストン式發動機では、その燃料消費率は、馬力当り毎時消費率 (kg/HP/h) で与えられている。従つて、ターボジェットの燃料消費率をこれと比較するには、前項の推力当り消費率を相当軸馬力当り消費率に換算しなければならぬ。

いまあるターボジェットが推力 T (kg) を以つて、飛行機に v (m/s) なる速さを与えている時、効率 η なるプロペラをもつピストン式發動機でこれだけの仕事を単位時間にするには、次式で与えられる軸馬力 P_s を必要とする。

$$75\eta P_s = Tv$$

$$P_s = Tv / 75\eta \quad \dots\dots\dots (1)$$

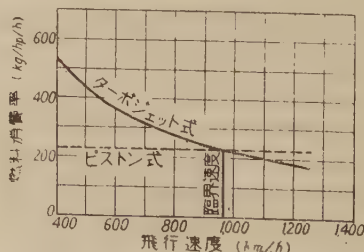
この P_s をターボジェットの相当軸馬力と呼ぶ。

いま、ターボジェットの推力 1kg 当り毎時消費率を b_T (kg/kg/h) とすれば、毎時の燃料消費量 (kg) は $b_T T$ であるから、これを (1) 式の相当軸馬力で割つて、軸馬力当り毎時消費率 b_s を求めると

$$b_s = 75b_T\eta / v \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。

b_T 及び η は速度に無関係に一定であるとする、 b_s は機速に逆比例して第3図のように変化する。第3図は $b_T = 1.0$ kg/kg/h、 $\eta = 0.80$ として計算したもので、ピストン式發動機の燃料消費率を 0.23 kg/HP/h としてこれと比べてみると、現在のように、ジェット機の巡航速度が 800km/h 程度ではピストン式發動機より 20% ぐらい多い。巡航速度が増すと共に、両者の差は次第に少くなり 960km/h 以上では、ジェット機の方が、かえつて燃料消費率が少くなるということがわかる。この“臨界速度”は、プロペラ効率や燃料消費率のとり方で違ふことはもちろんであるが、大体 1000km/h 内外と考えてよいであろう。



第3図 相当軸馬力当り燃料消費率の比較

4. ジェット機の航続性能を左右する要素

飛行機の航続性能は、機体のいろいろな特性と発動機の燃料消費率との組合せで定まるものである。

いま、ジェット機が燃料 1 kg を消費する間に進む距離 x (km) を基本航続距離とすれば

$$x = \frac{V}{B} = \frac{V}{b_T T}$$

V 飛行機の実速 (km/h)

B ジェットの毎時燃料消費量 (kg/h)

b_T ジェットの推力当り燃料消費率 (kg/kg/h)

T ジェットの推力 (kg)

水平定常飛行では

$$T = \frac{c_D}{c_L} W$$

c_D 全機の抗力係数

c_L 全機の揚力係数

W 飛行機の全重量 (kg)

上の二つの式から

$$x = \frac{c_L}{c_D} \cdot \frac{V}{b_T} \cdot \frac{1}{W} \quad \dots\dots\dots(3)$$

が得られる。

プロペラ式飛行機では、プロペラ効率を η 、馬力当り燃料消費率を b_s (kg/HP/h) とすれば、

$$x_p = 270 \frac{c_L}{c_D} \cdot \frac{\eta}{b_s} \cdot \frac{1}{W} \quad \dots\dots\dots(4)$$

で、これに、(2) で与えられる $b_s = b_T$ の関係を入れれば、(3) と同じ型になる。

(3) で

$$V = 14.4 \sqrt{\frac{W}{\sigma c_L S}}$$

σ 空気密度比

とおけば

$$x = 14.4 \frac{c_L^{\frac{1}{2}}}{c_D} \cdot \sqrt{\frac{W}{S \sigma}} \cdot \frac{1}{b_T W} \quad \dots\dots(5)$$

が得られる。

(4) と (5) とを比較すると、プロペラ機とジェット機とでは、その基本航続性能に著しい相違のあることがわかる。すなわち、燃料消費率やプロペラ効率が、高度及び速度によつて変化しないとすると、

(a) 基本航続距離が最大となる速度——これを経済速度という——を与える飛行姿勢は、プロペラ機では $(c_L/c_D)_{max}$ で与えられるが、ジェット機では $(c_L^{\frac{1}{2}}/c_D)_{max}$ で与えられる。

(b) 基本航続距離は、プロペラ機では高度や翼面荷重

に無関係であるが、ジェット機では翼面荷重及び高度が増すにしたがつて増す。

5. 経済速度を与える迎角

プロペラ機とジェット機の経済速度を比較するため、全機の抗力係数を

$$c_D = c_{D0} + k c_L^2$$

と仮定する。

プロペラ機では

$$\frac{d(c_L/c_D)}{dc_L} = \frac{d}{dc_L} \left(\frac{c_L}{c_{D0} + k c_L^2} \right) = \frac{c_{D0} - k c_L^2}{(c_{D0} + k c_L^2)^2} = 0$$

従つて c_L/c_D を最大とする迎角 (c_L) は次式で与えられる。

$$c_L = \sqrt{\frac{c_{D0}}{k}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

ジェット機では

$$\begin{aligned} \frac{d(c_L^{\frac{1}{2}}/c_D)}{dc_L} &= \frac{d}{dc_L} \left(\frac{c_L^{\frac{1}{2}}}{c_{D0} + k c_L^2} \right) \\ &= \frac{c_{D0} - 3k c_L^2}{2 c_L^{\frac{1}{2}} (c_{D0} + k c_L^2)^2} = 0 \end{aligned}$$

従つて $c_L^{\frac{1}{2}}/c_D$ を最大とする迎角 (c_L) は次式で与えられる。

$$c_L = \sqrt{\frac{c_{D0}}{3k}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

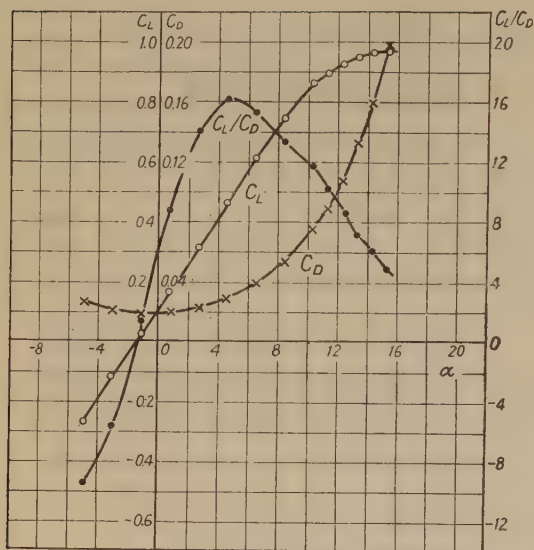
(6) と (7) とを比較すると、経済速度を与える迎角は、ジェット機がプロペラ機の $1/\sqrt{3}$ 倍であることがわかる。すなわち、翼面荷重及び飛行高度が同じ場合、ジェット機の経済速度は、プロペラ機の $\sqrt{3} = 1.32$ 倍であることがわかる。

6. 実例計算

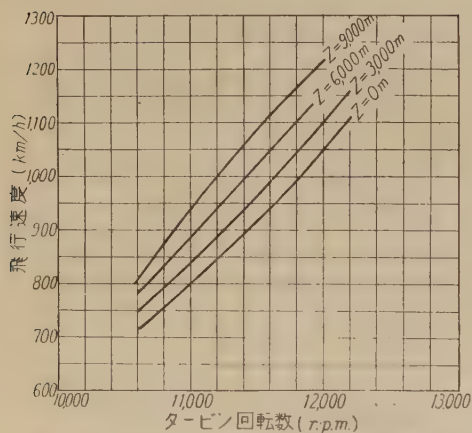
ジェット機の航続性能の概念を知り、かつ上で得られた一般法則を確かめるため、実例計算を行つた。機体は、ローリスロイス・ニーンを装備する仮想のもので、翼面積 20m^2 、全備重量 $7,000\text{kg}$ で、第 4 図のような空力特性をもつとする。計算結果は第 7~5 図に示す。

第 5 図は、各高度に於けるタービン回転数と速度との関係を示す。

第 6 図は、速度及び高度による基本航続距離 (km/kg) の変化を計算したものである。曲線中の丸印は第 4 図の空力特性から求めた $(c_L^{\frac{1}{2}}/c_D)_{max}$ に相当する点で、曲線の最大値の位置にはほぼ一致していることがわかる。つまり、ターボジェットの燃料消費率が速度によつて変化しないと仮定して求めた経済速度が正確な実例計算の結果



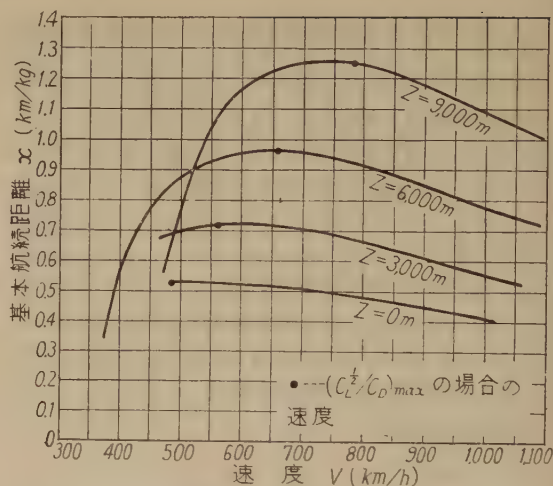
第4図 計算実例機の空力特性



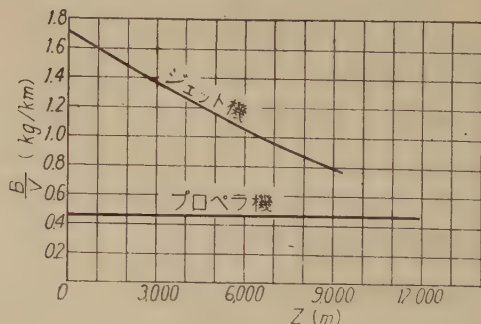
第5図 タービン回転数と飛行速度との関係

果に大体合うことが示されている。

第7図は、経済速度に於ける距離当り燃料消費量 kg/km (基本航続性能の逆数) の高度による変化で、



第6図 基本航続距離の速度及び高度による変化



第7図 距離当り燃料消費量の高度による変化

$b=0.23\text{kg/hp/h}$, $\eta=0.80$ なるピストン式発動機をつけた場合と比較してある。これで見ると、ジェット機の場合は、高度と共に距離当り燃料消費量は次第にピストン発動機付のものに近ずいてゆくことがわかる。しかし高度 10,000cm の高空でもなおピストン式に及ばないのは、この例に使った飛行機が比較的翼面荷重低く、第3図で考えられるような臨界速度以上の速度で巡航できぬためである。

群馬縣の工學的土性図

(1952年6月4日受理)

卷 内 一 夫*

Engineering Soil Map of Gunma Prefecture

By Kazuo MAKIUCHI

This first report is on the drafting of an engineering soil map which was made for high way construction use purposes in Gunma prefecture.

Research on the soil characteristics from the viewpoint of topography and geology will be reported in the next report.

建設省より日本土質基礎委員会に委託研究として課題されたうち、筆者の担当群馬県の工學的土性図の素案を得たので第1報として発表するものであり、更に群馬県の土性の特長については更に第2報として発表の予定である。工學的土性図の製作は日本に於ては初めての試みである。

1. 工學的土性図

従来地質図又は農業用の土性図は全国またはある地方に限つて存在し、それぞれの利便を与えて居た。米軍による極概略の工學的土性図は一部製作されたが、物理試験も力學的試験も伴う時日がなく、ステツキ・ボーリングで簡単に行われたものであり、直接使用には未だ不充分であると考えられた。道路工事を主眼とする関東地方の工學的土性図の作製が日本土質基礎委員会で計画され、建設省より研究補助金の交付と地元各県の援助により今回作製されたものには、物理試験と力學的試験とを裏付けとして道路の設計（主として路面の処理、舗装対策を対照とする）維持、管理を行うのに便なる如く、土性の区分及びその性質の明示が主眼点とされた。

2. 調査及び計画¹⁾

1951年11月初旬より約10日間にわたり群馬県の代表的と思われる点24個所のボーリングを実施し42個所

の簡単な試験を実施した。

1952年1月より3月の3ヶ月は採取試料の物理的性質並に力學的性質の解明のため室内試験を実施した。

3. 群馬縣工學的土性図

土の分類の表示は道路を対照とするため米国道路局の分類に従い、A.S.T.M. および Casagrande の分類を併記した。素案は第1図である。

これ等の採取試料に対しての物理的性質並びに力學的性質の一覧表は第1表でありそれ等の道路使用材料又は工法に関する注意は第2表である。

4. 群馬縣土質の概観

群馬県の土性の大勢を決定するものは、浅間、榛名、赤城、日光白根及び荒船の火山噴出物に帰因するもの、高崎一碓氷にかけての三期層、大利根沿岸の洪積層、沖積層を主体として居り、これ等の性質の判別およびその使用対策は第2報として発表する予定である。

現地調査及び試料採取は、筆者及び酒井佐武郎君、林(徳)、笹原、浅川、戸巻、大原等の学生諸君の手を煩わし群馬県土木部、部長、道路課長、後藤技官、板垣課員等の御援助を得、実験室試験は研究班諸君の手を煩わした。

* 日本大学工学部土木工学科教授

1) 群馬県土木部編集の群馬県地質図及び農事試験場の調査を参考としたが群馬県農業用土性図は新しいものが未完成であり、Fesca の土性図を参考とした。

(第 1 表)

群馬県土質

番号	採取地点	粒 度 配 合 (重 量)								比重 S. P	液性限界 L. L.	塑性限界 P. L.	塑性指数 P. I.	遠心含水 当量 C. M. E	現場含水 当量 F. M. E
		%シルト粘土				通過 % コロイド									
		砂利	砂	シルト	粘土	10#	40#	200#							
1	群馬郡金古町	0	70	15	15	62	34	5	2.651	33.7	30.7	8.0	30.0 [×]	28.5	
2	群馬郡白御井 上白井伊熊	40	97 59	2.0	1.0	32	28 30	4 1	0 2.883	—	—	—	4.32	29.8	
3	利根郡片品村 八丁滝附近	0	85	13	2	60	24	0	2.673	—	—	—	29.40	29.4	
4	〃	0	80	15	5	60	25	0	2.648	85.3	61.5	23.8	42.00 [×]	14.0	
5	利根郡白沢村 上久屋	0	72	21	7	70	38	3	2.724	36.0	22.5	13.5	25.00	22.8	
6	利根郡沼田町 (台地)	0	80	10	10	65	28	5	2.703	68.5	41.4	27.1	48.00 [×]	61.29	
7	利根郡新治村 吹路	0	72	8	20	55	32	8	2.585	78.7	48.35	30.4	55.00 [×]	61.88	
8	北群馬郡伊香保 地蔵河	75	88 23	10 2	2	36	64	16 4	0 2.703	—	—	—	4.31	26.51	
9	北群馬郡東村 五反田	0	70	15	15	64	34	4	2.703	58.2	34.3	23.9	42.50 [×]	51.11	
10	吾妻郡中之条町台地	0	78	10	12	55	24	0	2.833	56.4	45.2	11.2	41.30 [×]	35.91	
11	吾妻郡岩島村 細谷	0 43	64 52	21 4	15 1	24	41 6	5 0	2.837	28.9	17.1	11.8	19.00 [×]	22.86	
12	吾妻郡草津町 鈴蘭	0	49	30	21	83	× 56	14	2.664	47.0	25.4	21.6	52.00	40.96	
13	吾妻郡嬬蔵村 六里ヶ原 △1205	0 60	66 37	11 3	3 0	31	58 37	16 4	0 2.712	—	—	—	—	34.39	
14	碓氷郡細鈴村 滝名田	0 35	80 60	14 4	6 1	46	70 30	36 6	2 0	2.656	53.1	32.7	20.4	37.00 [×]	29.48
15	甘楽郡黒岩村明戸	0	29	35	36	90	× 74	25	2.686	61.3	30.3	31.0	72.00 [×]	30.53	
16	多野郡吉井町塩川	0	42	46	12	93	× 67	6	2.802	48.9	23.4	25.5	63.00 [×]	23.13	
17	多野郡日野村金井	0	58	32	10	76	× 49	6	2.736	43.1	20.0	23.1	55.00 [×]	34.38	
18	多野郡藤岡町東部	0	14	10	76	98	× 92	70	2.755	67.7	30.7	37.0	85.00 [×]	32.37	
19	邑楽郡長柄村狸塚	0	87	11	2	55	16	0	2.636	67.4	48.8	18.6	60.00 [×]	65.48	
20	新田郡毛里田村唐沢	0	49	40	11	88	× 58	5	2.656	37.1	23.2	13.9	44.00 [×]	21.39	
21	佐波郡東村三郷	0	70	14	16	70	34	6	2.367	68.3	48.9	19.4	75.00 [×]	55.24	
22	勢多郡新里村 板橋	0	49	20	26	85	× 57	16	2.497	69.0	54.3	14.7	98.00 [×]	70.80	
23	勢多郡荒紙村 江木	0	69	15	16	75	35	4	2.795	74.9	63.3	11.6	100.4 [×]	74.43	
24	勢多郡南橋町 関根	0	82	18	0	75	22	0	2.692	46.5	25.8	20.7	33.00 [×]	37.86	

註 1. 粒度試験の 200# 通過量が 40# 通過の半分以上のもの ×印

路盤の用土には適しない

2. 粘土結合材は一般に $L.L < 65$ $P.I = 0.6 \times L.L - 9.0$ であることを必要とする。一般に極く、湿潤の地方 $P.I = 3$ 通常湿潤地方 $P.I = 4 \sim 8$ 乾燥又は半乾燥地方 $P.I = 9 \sim 15$ 砂利道の砂—粘土混合物は $L.L \leq 25$ $P.I \leq 6$ 自然転圧のものに於て $P.I = 20 \sim 40$ 細粒土 $P.I = 6 \sim 9$

調査一覧表

收縮限界 S. L.	收縮比 S. R.	容積変化 Vs.	線収縮 Ls.	自然含水比	最適含水比	自然乾燥密度	最大乾燥密度	C. B. R		内部摩擦角	凝集力 kg/cm ²	一軸剪断	三軸剪断
				N. M.	O. P.	膨張率	C.B.R						
31.8	1.63	23.19	6.75	× 39.0	22.08	○ 1.62	1.715	0.003	31.4	26°56'	1.62		
35.7	0.15	○ 0.34	○ 0.51	× 30.0	21.40	× 1.58	1.750	0.025	38.5	46°45'	1.10		
—	—	—	—	× 25.0	13.24	× 1.60	1.815	0.001	17.2	67°13'	0.50		
53.00	1.10	55.28	13.64	× 55.0	42.60	1.09	1.110	0.035	8.3	19°48'	1.20		
24.96	1.62	40.39	10.75	× 65.0	14.39	× 1.10	1.922	0.030	9.6	35°09'	1.62		
40.19	1.25	50.19	12.17	× 65.0	54.49	× 0.95	1.074	0.004	2.7	7°18'	0.90		
58.78	1.19	52.23	13.07	× 55.0	44.09	1.10	1.205	0.001	15.9	16°04'	0.90		
—	—	—	—	15.0	18.23	1.75	1.78	—	50.0	39°13'	0.42		
39.74	1.38	34.30	9.39	× 55.0	32.69	× 1.15	1.38	—	20.5	56°40'	0.70		
50.16	1.24	26.01	7.45	25.0	33.30	× 1.25	1.38	—	26.8	53°02'	0.67		
29.74	1.61	○ 5.60	○ 1.81	× 40.0	14.47	× 1.42	1.966	—	27.1	63°00'	0		
44.85	1.27	○ 15.48	○ 4.43	× 60.0	38.38	× 1.10	1.24	0.003	34.3	13°30'	1.85		
—	—	—	—	6.0	18.72	× 1.61	1.724	—	16.0	54°56'	0.15		
39.36	1.37	33.45	9.15	× 35.0	24.42	× 1.38	1.53	1.003	11.6	31°58'	1.67		
41.88	1.58	42.04	11.30	× 30.0	22.59	× 1.46	1.63	—	5.0	43°38'	0.18		
19.26	1.78	52.74	13.17	24.0	21.28	1.65	1.70	0.004	9.6	0°55'	1.65		
22.65	1.88	45.43	11.73	× 25.0	14.90	× 1.60	1.91	0.003	25.4	43°50'	1.60		
24.75	1.77	53.30	14.58	× 35.0	24.91	× 1.40	1.563	0.007	9.2	42°24'	1.63		
79.27	1.01	77.36	17.43	80.0	75.42	0.88	0.872	—	14.7	43°12'	0.90		
25.89	1.67	○ 18.84	○ 5.61	× 40.0	21.00	1.48	1.592	—	10.7	35°46'	1.55		
46.87	1.15	○ 11.56	○ 3.58	× 80.0	45.23	× 0.88	1.206	—	23.3	27°29'	1.10		
33.26	1.34	24.36	7.01	× 100.0	57.82	× 0.84	1.028	0.034	12.8	20°13'	1.05		
89.78	0.83	44.03	11.20	60.0	59.86	× 0.90	1.044	0.043	15.7	28°49'	1.45		
32.79	1.44	8.41	○ 2.66	× 70.0	26.53	× 1.00	1.495	—	25.0	48°39'	0.65		

3. C. M E < 12 は大体凍上がない。 ×印以外のもの。

Vs ≤ 17 Ls ≤ 5 は路床土として大体収縮の限度内にあるもの ○印。

4. 現場密度の×印は路床として更に輾圧を必要とする。

現場含水比の×印のものは、盛土として使用するのには出来るだけ乾燥した方がよい。
路床としても排水を充分に考える必要がある。

(第 2 表)

番号	採取地点	分類					路床土価値	基層材料
		道路局	三角座標	A.A.S.H.O	Cassagrande	地質学的		
1	群馬郡金古町	砂質ローム	砂質ローム	A-2-4	S. F	洪積層	佳良—良好	不適当
2	群馬郡白御井 上白井伊熊	砂利交り 砂土	砂利交り 砂土	A-3	G. F	火成岩 風化	良好—優良	不良—良好
3	利根郡片品村 八丁滝附近	砂	砂	A-3	S. P	変成岩 風化	佳良—良好	不適当
4	〃	砂質ローム	砂質ローム	A-2-7	S. F	火山灰 風化	〃	〃
5	利根郡白沢村 上久屋	砂質ローム	シルト質砂	A-2-6	S. F	洪積層	〃	不適当
6	利根郡沼田町 (台地)	砂質ローム	砂	A-2-7	S. F	〃	〃	〃
7	利根郡新治村 吹路	砂質粘土 ローム	粘土質砂土	A-2-7	S. F	水成岩 風化	〃	〃
8	北群馬郡伊香保 地蔵岡	砂交り砂利	砂交り砂利	A-3	G. P	火山砂利 火山砂	良好—優良	不良—良好
9	北群馬郡東村 五反田	砂質ローム	砂質ローム	A-2-7	S. F	洪積層	佳良—良好	不適当
10	吾妻郡中之条町台地	砂質ローム	砂	A-2-4	S. F	〃	〃	〃
11	吾妻郡岩島村 細谷	砂利交り 砂質ローム	砂利交り シルト質砂	〃	G. F	〃	良好—優良	不良—良好
12	吾妻郡草津町 鈴蘭	粘土ローム	砂質ローム	A-7	M. L	洪積層 (火山灰)	佳良—良好	不適当
13	吾妻郡嬬恋村 六里ヶ原△1205	砂交り砂利	砂交り砂利	A-3	G. P	火山砂利 火山砂	良好—優良	不良—良好
14	碓氷郡細野村 滝名田	砂利交り 砂質ローム	砂利交り 砂土	A-2-4	G. F	第三期層	〃	〃
15	甘楽郡黒岩村 明戸	粘土	ローム	A-7	C. H	〃	不良—稍不良	不適当
16	多野郡吉井町塩川	ローム	砂質シルト	〃	C. L	〃	佳良—不良	〃
17	多野郡日野村金井	砂質ローム	シルト質 砂土	A-2-7	S. F	古生層	佳良—良好	〃
18	多野郡藤岡町東部	粘土	粘土	A-6	C. H	洪積層	不良—稍不良	〃
19	邑楽郡長柄村狸塚	砂	砂	A-5	M. H	鹿沼土	不良	〃
20	新田郡毛里田村唐沢	ローム	ローム	A-6	C. L	火山灰	佳良—不良	〃
21	佐波郡東村三郷	砂質ローム	砂質ローム	A-7	M. L	〃	佳良—良好	〃
22	勢多郡新里村 板橋	砂質粘土 ローム	砂質ローム	A-7	C. H	〃	不良—稍不良	〃
23	勢多郡荒紙村 江木	砂質ローム	砂質ローム	A-7	O. H	〃	極不良	〃
24	勢多郡南橋町 関根	砂	砂	A-3	S. P	沖積層 (有機質)	佳良—良好	不適当

註 1. C. B. R. 及び推定 K-値は概略の一般を示す。

2. (表層+基層+基礎) 厚は、中交通に対する概略値であつて実際には直接現場の C. B. R. 又は K-値を測定し決定すべきである。

凍結作用	圧縮膨張弾性	排水性	締め固め機	推定 K-値	(表層+基層+基礎) 厚		摘 要
					所要 コンクリート厚	所要 アスファルト厚	
小一大	無一中	良一不透	タイヤローラー	9.5	18. ^{cm} ~ 14.5 ^{cm}	17.5 ^{cm}	
小一中	無一少	//	//	11.2	17. ~ 15.5	12.5	
無一極小	無	優 良	トラクター	6.7	18. ~ 14.	20.0	
小一大	無一中	良一不透	タイヤローラー	5.4	19. ~ 14.5	33.0	
//	//	//	//	5.6	18.5 ~ 14.5	25.5	
//	//	//	//	2.8	19.5 ~ 16.5	//	
//	//	//	//	6.5	19.5 ~ 14.5	20.0	
無一極小	無	優 良	トラクター	14.0	18. ~ 14.5	7.5	
小一大	無一中	良一不透	タイヤローラー	7.0	18. ~ 14.5	18.0	
//	//	//	//	7.9	17. ~ 14.5	15.5	
小一中	無一少	//	//	8.4	17. ~ 14.5	12.5	
中一極大	小一中	良一不良	//	9.8	17.5 ~ 14.5	10.0	
無一極小	無	優 良	トラクター	6.5	17.5 ~ 14.5	20.0	
小一中	無一小	良一不透	タイヤローラー	6.6	17.5 ~ 14.5	25.5	
中	大	不 透	シープフートローラー	9.0	18. ~ 15.	43.0	
中一大	中	//	//	5.4	17.5 ~ 14.5	23.0	
小一大	無一中	良一不透	タイヤローラー	7.3	17.5 ~ 14.5	25.5	
中	大	不 透	シープフートローラー	5.1	//	18.0	
中一極大	大	良一不良	なし	6.5	//	23.0	この層の上部に 1.5m 以上無い 場合は全部置き 換えを要する
中一大	中	不 透	シープフートローラー	5.6	//	//	
中一極大	小一中	良一不良	タイヤローラー	7.6	//	18.0	
中	大	不 透	シープフートローラー	5.9	//	23.0	
中	大	//	—	6.8	17.5 ~ 16.5	20.0	
無一極小	無	優 良	トラクター	7.9	15.5 ~ 14.	15.5	

金属塩水溶液の流電作用による 金属表面の変遷に関する研究 (第3報)

(1952 年 4 月 10 日 受理)

受働態化現象に及ぼす銅電極の浸漬表面積の影響

安 房 信 輝*

A Study of the Changes on Metal Surface Caused by Electrolysis in Metallic Salt Solutions (Report 3)

The influence of the immersion area of the copper electrode on
the phenomenon of passivation

By Nobuteru AWA

The facility of passivation for the copper anode is dependent upon the measures immersion area of the electrodes.

The passivation voltage and the current at the very moment of passivation increased in accordance with increase of the surface area of the anode in a dilute solution of copper sulphate. In this experiment, the larger the surface areas of the cathode, the lower was the passivation voltage. On the contrary, the current, after passivation, became, on one hand, slightly increased in the same situation; and, on the other hand, when the surface area of the anode was smaller compared with that of the cathode, the current decreased slightly.

The reason for these difficulties of passivation in accordance with the enlargement of the surface areas of the anode in an active condition in the aqueous solution of electrolytes of the same quantity is accounted for by the fact that this experiment coincides with the theory of electric decomposition, that is, a negative compound in the solution has a tendency, in an action of passivation, to deposit with difficulty on the surface of the anode in proportion to the enlargement of the anode. This leads us to the evident conclusion that the electrolytic decomposition in the aqueous solution of electrolytes takes a leading part in the occurrence of the passivating phenomenon.

1. 緒 言

陽極とされる活性状態表面の銅はイオン化することによつて極めてよく溶解するが、受働態化の表面となることによつて溶解は急激に減少し、濃厚な硫酸銅水溶液中では不難溶性金属ともなる。

著者が種々な金属の陽極表面変化に就いて実験せる主要なる電鍍の中、活性態より受働態への変遷が最も顕著なものゝ一つは銅である。よつて銅陽極の受働態の出現に関する研究の発展は、実に陽極のイオン化によつて陰極に電着折出せしめて電鍍を行う種々な電鍍の反応機構、理論導出等に意義あらしめることゝなるものと考えた。

本報では特に銅陽極の受働態化現象と電極の浸漬表面積との関連性を系統的に種々な濃度の硫酸銅水溶液と硫酸を添加した一般的標準の酸性銅電鍍液に就いて究明した。

尙、受働態化現象に及ぼす銅電極の浸漬表面積の色々な影響より、銅電極の受働態化は液中の過剰な酸素が電解作用をなし得ることによつて固着化合する場合に出現するものであり、受働態化に必要な液中の陰性成分の割合が陽極表面積を大とすることに比例して減じられ、ために受働態化現象が起り難くなることを確めた。この総合的研究の事実より陽極とされる金属の表面変遷は電解質成分を惹付けることによつてエネルギー的調和をなし、

* 日本大学工業化学科教室 山本研究室

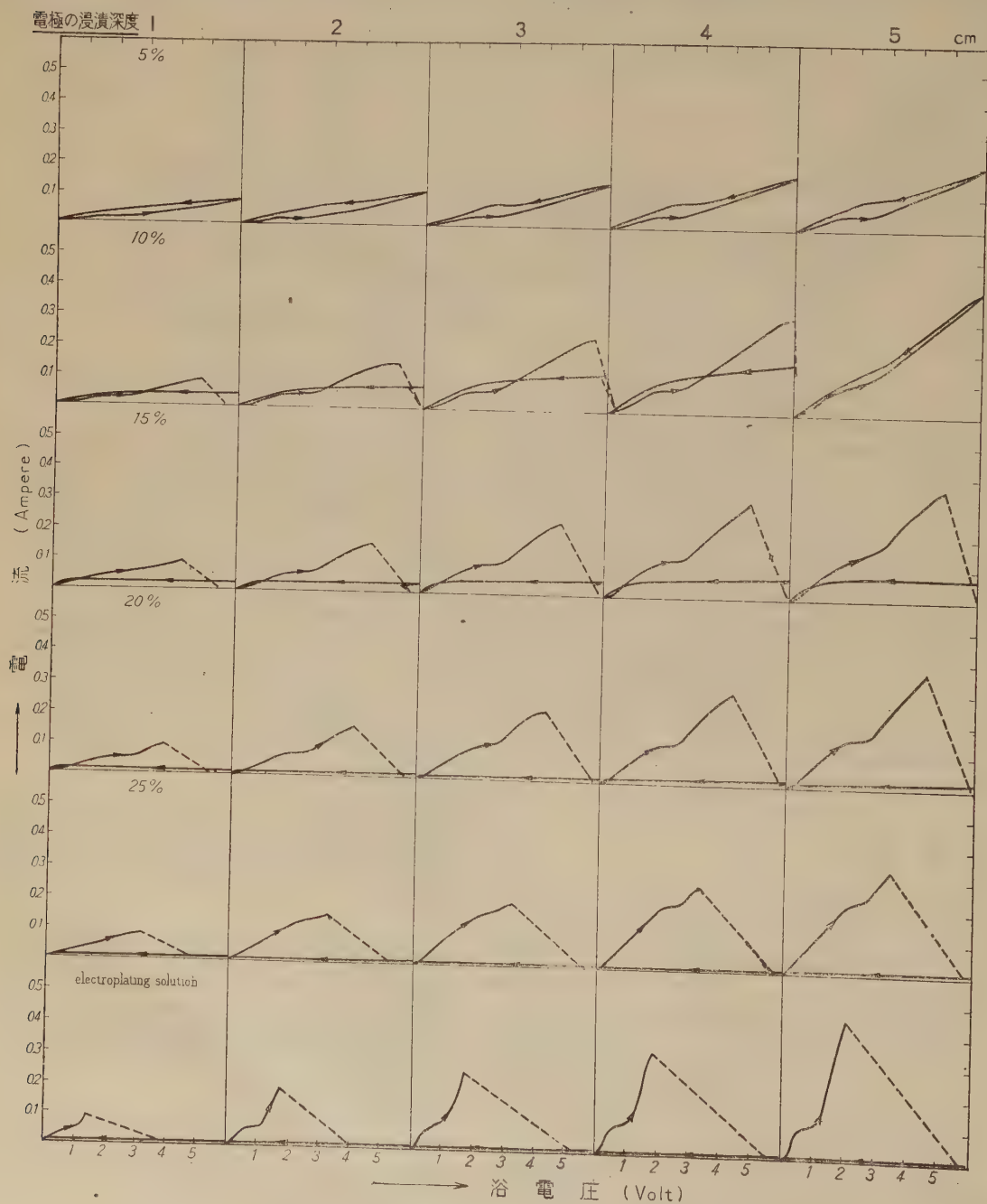
酸化物皮覆を構成することによつて出現するものと考えられる。

2. 実験方法

測定装置及び方法は本研究第1報に記載したものと大

体同様である。

但し電極を目的の浸漬深度とする為に 10, 11, 12, 13 及び 14 cm の長さに切断し一定の高さの支持台に固定することによつて所望の深度とした。而して液面上部の表面積を等しくする目的をもつて電極の浸漬深度を変え



第1図 電極の浸漬深度変化による A-V 曲線。

て浸漬表面積の変化に就いての実験を行つた。即ち電極の浸漬深度 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 及び 5.0 cm のとき浸漬表面積はそれぞれ 0.38, 0.75, 1.12, 1.48 及び 1.85 cm^2 となる。

測定槽は目盛付特製硝子容器であり、液の深度 5.0 cm, その時の液量は約 100 cc, 又、電極間の距離は 3 cm である。実験に於ける最初の液温は 17°C (液温誤差は $\pm 1^\circ\text{C}$) である。

3. 陽極及び陰極を同一表面積とした場合に於ける銅陽極の受働態化に及ぼす浸漬表面積の影響

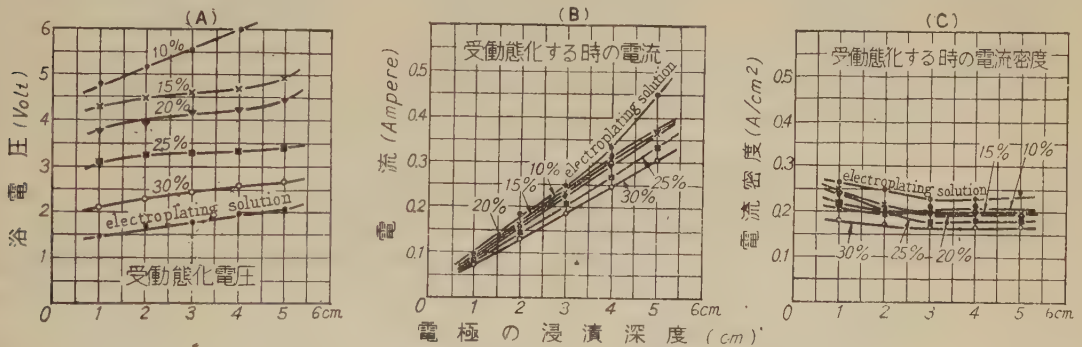
兩極の浸漬表面積を相等しくし、電極深度と硫酸銅水溶液の濃度を様々に変化して観測した A-V 曲線の一部は第 1 図の如くである。この結果より受働態化電圧、受働態化時の電流及び電流密度と電極の浸漬深度との関係を求めれば第 2 図 (A), (B), 及び (C) の如くとなり、

硫酸銅濃度との関係は第 3 図 (A'), (B') 及び (C') の如くなる。

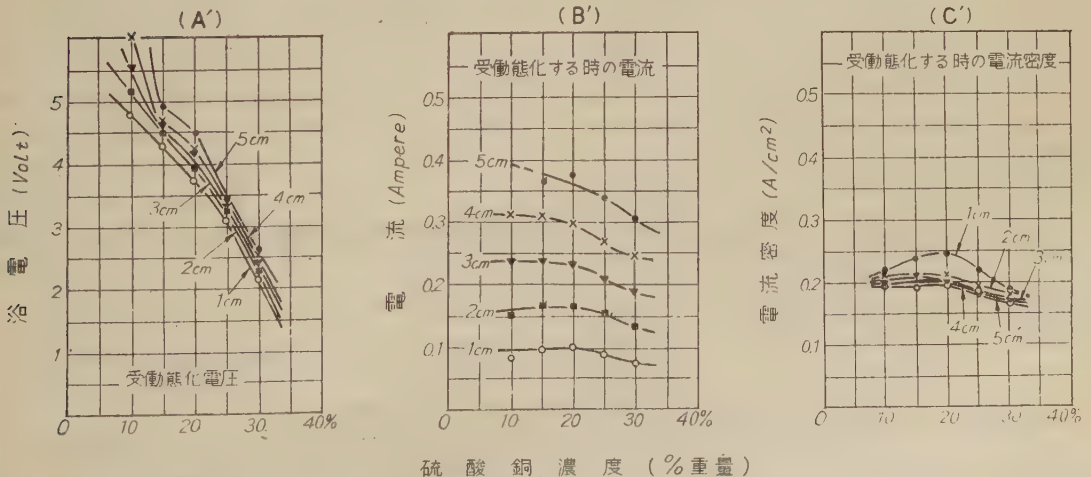
受働態化電圧と受働態化時の電流は浸漬表面積の大きると共に高められ、その傾向は濃度小なる液中に於いて著しく、濃度が大となるにつれて幾分緩やかな曲線となる。受働態化時の電流は浸漬表面積が極めて小さい場合には濃度の影響を受けず略一点に集中される。受働態化時の電流密度は浸漬表面積が大きになると共に僅かに低くなるがある濃度の水溶液では平行線或いは幾分高くなる様な場合もある。然しその程度は一般に不規則で小さい。以上の実験によつて受働態化の出現は略一定なる電流密度に於いて決定せられる如き傾向にあると考えられる。

4. 陽極の浸漬表面積が銅陽極の受働態化に及ぼす影響

陰極の浸漬深度を 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 及び 5.0 cm とし、その各々に対する陽極の浸漬深度を 1.0, 2.0,



第 2 図 電極の浸漬深度に伴う受働態化現象の変化

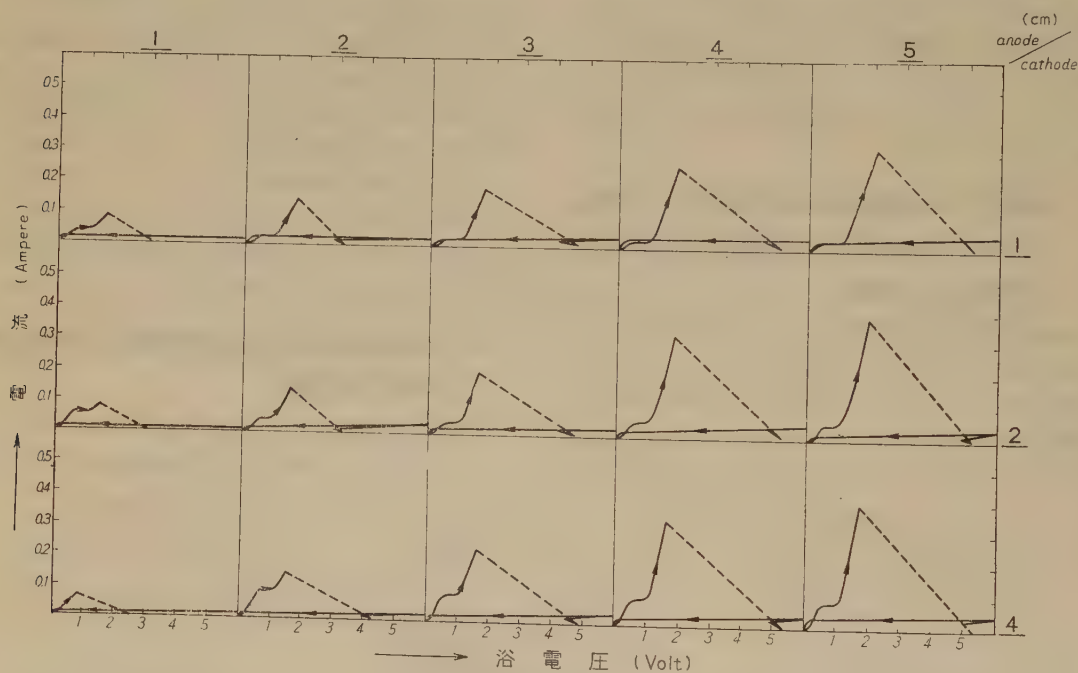


第 3 図 硫酸銅濃度に伴う受働態化現象の変化

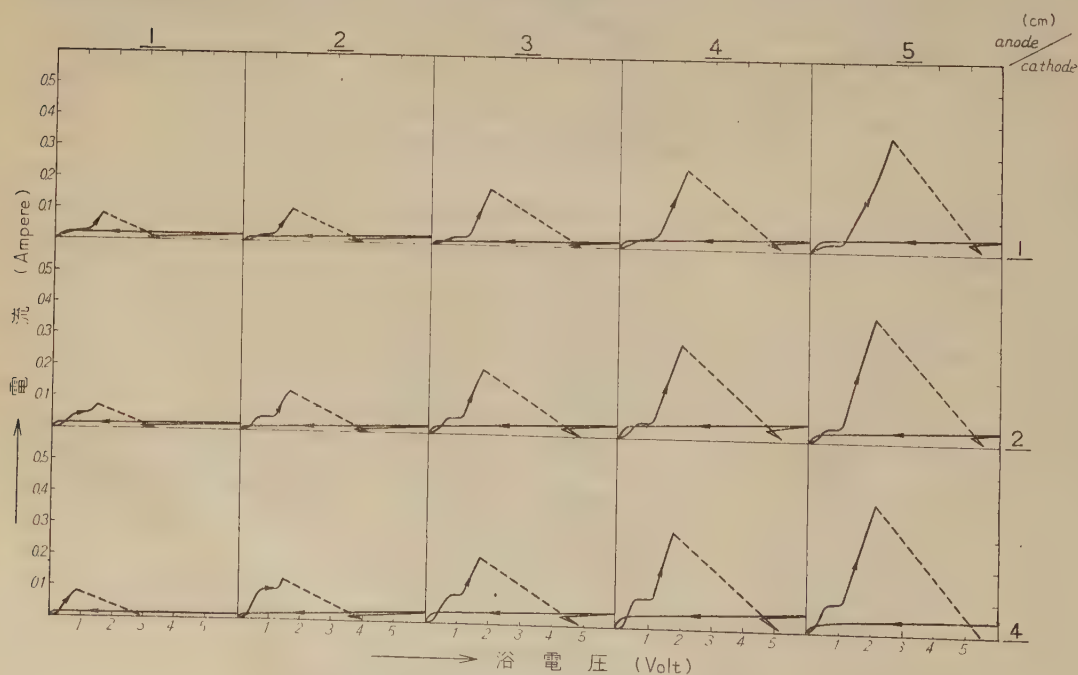
3.0, 4.0 及び 5.0 cm の順に変化せしめた場合の受動態化現象を $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: 200g, H_2SO_4 : 50g 蒸溜水 (pH 6.8): 1l の組成を有する一般的標準の酸性銅電鍍液

に就いて観測したものである。

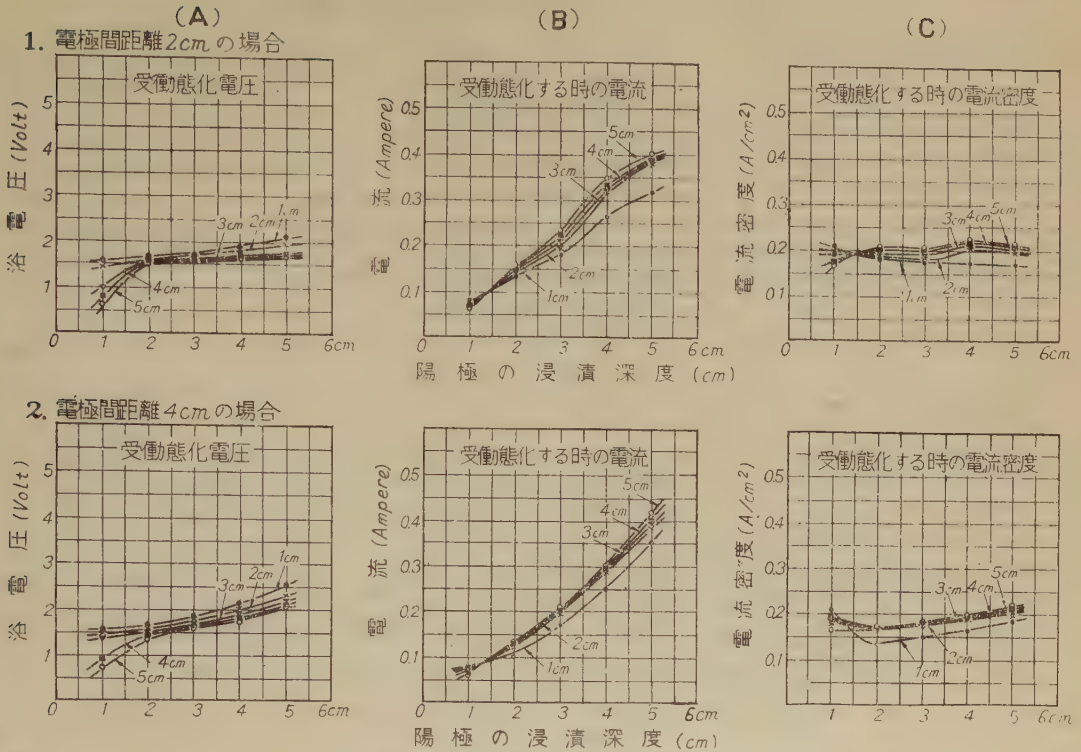
観測による A-V 曲線の一部を示めせば第 4 図 (電極間の距離 2 cm の場合), 第 5 図 (電極間の距離 4 cm の



第 4 図 A-V 曲線 (電極間の距離 2 cm の場合)



第 5 図 A-V 曲線 (電極間の距離 4 cm の場合)



第6図 陽極の浸漬深度に伴う受働態化現象の変化

場合) の如くである。この結果より受働態化電圧, 受働態化時の電流及び電流密度と陽極の浸漬深度との関係を求めれば第6図の (A), (B) 及び (C) の如くとなる。

受働態化電圧は陽極の浸漬表面積の大なる程高く, 高められる程度は陽極より陰極表面積が比較的大きい状態で陽極浸漬表面積を除々に大きくしてゆく場合に著しく, 陰極表面積が比較的小さい場合には陽極浸漬表面積を大としてもその高まりは緩やかで割合に小さい。受働態化時の電流は陽極の浸漬表面積の大なるに比例して高められるが, 陽極浸漬表面積が比較的小なる場合には陰極の浸漬表面積に影響なく一定値をとる。受働態化時の電流密度は陽極浸漬表面積を大とすることによって, 不規則に幾分高くなる傾向があるが, 浸漬表面積が割合に小さい場合には全く不規則で陰極表面積を色々に変化させる場合に電流密度がかへつて大きくなる場合もある。

5. 陰極の浸漬表面積が銅陽極の受働態化に及ぼす影響

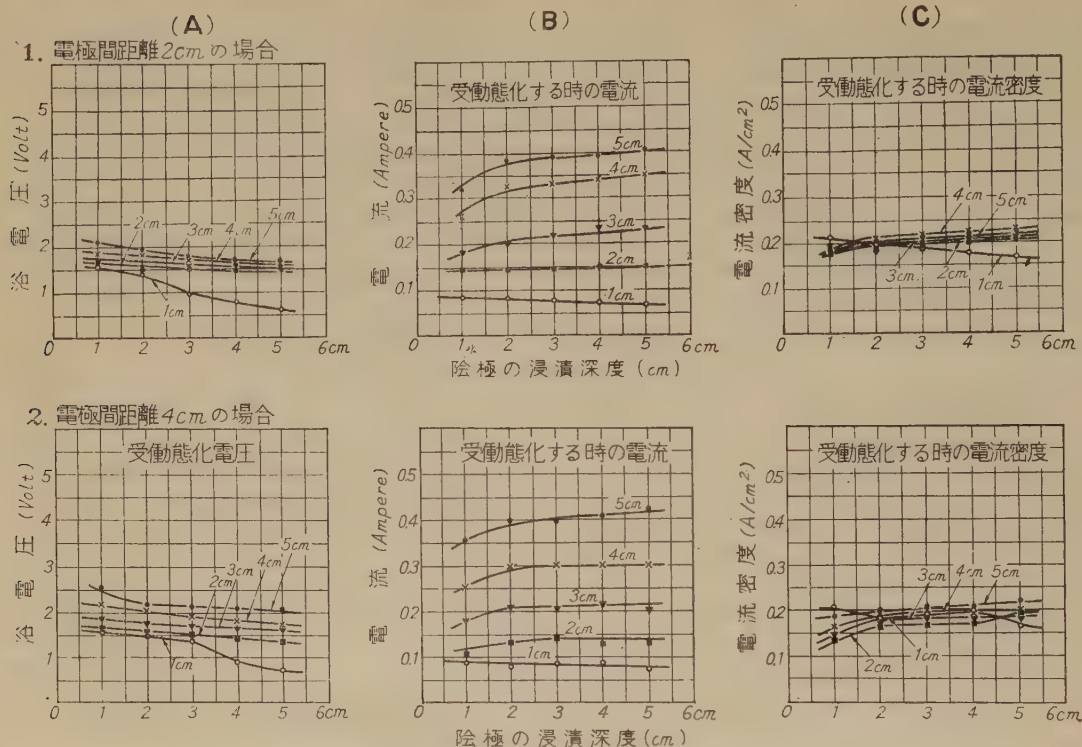
第4,5図に示めされた A-V 曲線を含む全部の曲線より, 陽極の一定浸漬表面積に対する陰極の浸漬表面積を系統的に変化した場合の受働態化電圧, 受働態化時の電

流及び電流密度を求めれば第7図の (A), (B) 及び (C) の如くである。

この結果の示めすところは一定浸漬表面積にある陽極の受働態化電圧は陰極浸漬表面積が大になると共に小さくなり, 陰極に対して陽極浸漬表面積が極めて小さい場合に顕著となる事であり, 受働態化時の電流は陰極浸漬表面積の大なる程大きく, その傾向は陰極に対して陽極浸漬表面積が割合に大きい場合に著しい。陽極浸漬表面積が極めて小さい場合には却つて陰極のそれを大とすることによって受働態化時の電流は次第に小さくなる可能性がある。然し受働態化時の電流密度は陽極浸漬表面積に伴う変化が極めて不規則でしかも小さく, 陰極浸漬表面積を大きくすると共に幾分高められるが陽極のそれが極めて小さい場合には却つて陰極浸漬表面積を大とするに従つて僅かに小さくなる。即ち陰極の浸漬表面積が陽極の受働態化時の電流密度に及ぼす影響は例外なく全般的に小さい。

6. 結言

種々な濃度の硫酸銅水溶液及び酸性銅電鍍液に就いて銅陽極表面の変遷状態に及ぼす電極の浸漬表面積の影響



第7図 陰極の浸漬深度に伴う受動態化現象の変化

を総合すると、受動態化電圧及び受動態化時の電流は、陽極浸漬面積が大なる程高く、硫酸銅濃度小なる事によつて一層高められ、陰極浸漬面積が大になると共に受動態化電圧は低く、この時の電流は僅かに高くなるが、陽極が陰極浸漬面積よりある程度小なる場合には却つて幾分低くなる。

受動態化時の電流密度は陽極及び陰極の浸漬表面積を大きくすることによつて不規則に幾分高くなる傾向があるが、変化の程度は非常に小さい。然し陽極か陰極の浸漬表面積が極めて小さい時には一般に低くなる。又硫酸銅濃度を逐次大とし、兩極の浸漬表面積を共に大とする場合には受動態化時の電流密度は低下するが、ある濃度以上では却つて僅かに高くなる傾向がある。

一定量の電解質水溶液に対して活性状態にある陽極の浸漬表面積を大とする場合に受動態化し難くなる事実は、受動態化に必要な液中の陰性成分が陽極浸漬表面積

を大とすることに比例して減じられるために受動態化し難くなるという事柄に一致している。しかうして陽極表面に構成される酸化物皮膜が受動態化に意義あるものであり、陽極表面の変遷状態が特に表面の酸化作用を前提として惹起され、又電解質水溶液の電解に基く陽極の受動態化現象に就いての見解を、電極の浸漬表面積に関する全体的研究に於いても推定し得るに至つた。

尙陽極浸漬表面積の大なる場合に於いて受動態化の出現の困難となるのは変遷に先立つて活性状態の溶解が大きいために液あるいは陽極表面全体の温度変化が陽極の浸漬表面積の大なるために一層高められるためである。この事実も亦電解作用による陽極の受動態化に意味がある事柄であるが、この系の研究結果は後報に於いて明かとする。研究の遂行に際して種々御指導を賜つた山本洋一教授に対し深謝する。

18-8 不銹鋼及びその熔接部の腐蝕的傾向に関する研究

(1951年8月1日受理)

山本 洋一*

安房 信輝**

Studies on the Corrosive Tendency of Eighteen-Eight Stainless Steel and it's Welded Parts

By Yōichi YAMAMOTO and Nobuteru AWA

The corrosion-proof tendency of 18-8 stainless steel and it's welded parts were determined by the R.G.Y. corrosion test and the results were, furthermore, compared with that of the ferroxyl test for confirmation. It has been unanimously admitted so far that the corrosion-proof tendency of metal materials can, in general, be determined by the immersion test.

It took, however, a long time to conclude this experimentation because there were important considerations such as the observation of quantities of lost weight, or the conditions of lost quantities in thickness of each sample. In addition to these observations, it was very difficult and not reasonable to get a clear conclusion on the corrosion proof tendency of the sample with such outward observations as the states of colour of the solution, or the figures of polishing changes on the surface of the sample.

Accepting the results of the experiment on the 18-8 stainless steel with no welded part on it as a standard for the comparison between welded part and non-welded part on each sample, the author carried out an experiment to determine the corrosion tendency in such different welding cases as that by oxygen, atomic hydrogen, and electric welding. The author determined the corrosion tendency of the welded parts by a current density at 0.1 volt in sulphuric acid solutions of various concentrations.

The evident result of corrosion tendency of each kind of welded part can be found in the Fig. 5, and the curves show us the fact that the oxygen welding is the worst of all weldings done with either atomic hydrogen welding or electric welding, and this is a great disadvantage.

There was an agreeable conformity between the result of the R.G.Y. corrosion test and the progress of corrosion tendency determined by the number of specks appearing in a unit area on the test papers due to a ferro-cyanide solution which made the Turnbull's blue turn pale immediately as it was transmitted to the test papers.

The author has established the method of the rapid test to examine the corrosion tendency of 18-8 stainless steel and its welded parts.

1. 緒言

18-8 不銹鋼の腐蝕性に関する研究は多くの研究者によつて広くなされて来た。但し metall-platin として価値づけられる 18-8 不銹鋼は充分で完全なる耐蝕性を有するから浸漬試験の腐蝕作用による溶解減量、厚さの消耗度によつて耐蝕性を評価するにはかなり長期の浸漬が必要であり、又液の着色、表面の光沢変化を観察して腐蝕性を判断する事は困難である。従つて実際には迅速な

る耐蝕性の比較試験が必要である。

筆者はそこで充分なる实用価値を有する唯一の迅速試験法として知られている「R.G.Y. 腐蝕試験法」⁽¹⁾に基いて耐蝕性の判定をなし、更に「Ferroxyl 試験法」⁽²⁾に基づく試験を行った。

2. 実験目的

18-8 不銹鋼の供試体二片を電極とし試験液によつて電流-浴電圧曲線の測定をなし、曲線型式によつて供試

*工業化学科教授 工学博士 **工業化学科教室 山本研究室

(1) 「R.G.Y. 腐蝕試験法」は山本洋一教授の創案による。(山本洋一: 化学機械協会年報 3 (昭14))

(2) 鉄合金の「Ferroxyl 試験法」は本研究が初めてであり、R.G.Y. 腐蝕試験との比較及び実用性に関しては先きに業界に紹介された。(安房信輝: 鋳造と機械 第5巻第11・12号 (昭26) 9~11)

体の腐蝕的性質や材質の本性を知り併せて一定浴電圧に於ける電流の大小によつて耐蝕性を判定する。この方法によれば迅速且正確に腐蝕の傾向を判断するのに極めて有効であり、浸漬試験の結果にも略一致している。

耐蝕金属材料たる 18-8 不銹鋼の僅なる腐蝕は主に材質の不均一によつて生ずる局部的腐蝕にして、適応材質としての適用範囲をこれ等の試験法に基いて決定することを目的とした。又「Ferroxyl 試験」と「R. G. Y. 腐蝕試験」の結果の比較によつて「Ferroxyl 試験法」の正確性を確かめた。

3. 試験片

(1) 18-8 不銹鋼 (幅 10mm, 長さ 64mm, 厚さ 1.9mm) の中央部に 6mm の熔接部をする酸素熔接 (A, B), 電気熔接 (C, D), 水素原子熔接 (E, F) の 6 種である。

(2) 18-8 不銹鋼 (幅 22mm, 長さ 130mm, 厚さ 2~2.3mm) (幅 22mm, 長さ 100mm, 厚さ 1.83~2.14mm) の下部より 30mm の位置に幅 8mm の水素原子熔接を施した試験片にして前記試験片 a, b, c, d, e 及後記試験片 a', b', c', d', e' とする。



第1図 試験片

(3) 18-8 不銹鋼板 (横 20cm, 縦 15cm) 及び水素原子熔接を施した 18-8 不銹鋼熔接管 (内径 1.8cm, 外径 2.2cm, 長さ 15cm) について「Ferroxyl 試験」をなす。

実験に先立つて試験片を切削研磨に依つて所定の表面積とし、試験前に薄膜皮膜を充分に除くためにエメリーペーパー 1F によつて研磨し 10%-NaOH 水溶液中で電解脱脂次に 7%-NaCN 水溶液に浸漬更に 7%-H₂SO₄ 水溶液で数秒間酸洗し水洗した。前処理の方法によつて酸化皮膜の割合が異なり表面の腐蝕の傾向が変わるので同条件の前処理を必要とした。

猶、局部的腐蝕は材質の個々の問題であるから単一部分の試験のみで金属全体の耐蝕性を評価する事は出来ない。「Ferroxyl 試験」はこの意味を含めて重要とならう。

4. 試験方法

(1) R. G. Y. 腐蝕試験

供試液の 210cc (深度 5cm) を測定槽 (高さ 10.0cm, 直径 7.5cm, 300cc 容量ビーカー) に満し供試片を垂直且平行に浸漬する場合の電極間距離 3cm, 液温は 20°C

(液温誤差 $\pm 1^\circ\text{C}$) とし供試片は同時に浸漬せしめ 1 分間経過の後撈動抵抗器を以つて浴電圧を変化せしめた。浴電圧上昇及び下降は各々 4 分, 3 分間とし全て同速度に行つた。

(浸漬深度)

	A~F	a~e	a'~e'
① 熔接部を有しない部分の場合...	2.1cm	2.6cm	2.6cm
② 熔接部を有する部分を含む... 場合	4.3cm	3.6cm	3.6cm

① 18-8 不銹鋼たる材質の局部的腐蝕の試験を行つて基準とした。この場合もし材質の不均一部分があれば低浴電圧に於ける電流が上昇して局部的に腐蝕される筈である。

② ①で試験した部分と熔接部を有する部分を共に浸漬して試験を行い所定浴電圧に於ける電流密度 (Amp/dm²) を比較する事によつて熔接部の腐蝕的傾向を確かめた。尚所定浴電圧に於ける電流密度は同じ前処理による 5 回の試験の平均値とした。

(2) Ferroxyl 試験

Potassium Ferricyanide は反応して青色を呈する化合物を作り、塩化ナトリウムは鉄を腐蝕するので Potassium Ferrocyanide 及びアンモニア水を含有しない液で試験する事も出来る。

(Ferroxyl 試験液の組成)

Potassium Ferrocyanide: K ₄ [Fe(CN) ₆]	10g
Potassium Ferricyanide: K ₃ [Fe(CN) ₆]	10g
塩化ナトリウム	: NaCl 60g
アンモニア水 (28%)	: NH ₄ OH 5cc
蒸溜水 (pH6.8)	: H ₂ O 1l

試験液は常に暗処に保存しておく。定性用濾紙に試験液を充分吸収せしめ、供試片に 5 分間確実に密着し刷毛に液を浸して適宜に塗り乾燥せしめない様にする。

試験紙に表はれる Turnbull's blue の青色斑点数を単位面積 (1cm²) に換算して示す。斑点数は経 1mm の斑点を 1 と定めて示し、薄青色として一様に示されているもの様な場合については 1/2 とした。

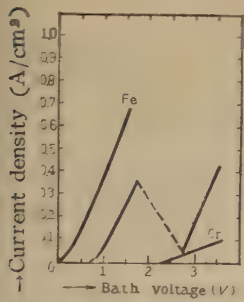
5. 実験結果及び考察

(1) R. G. Y. 腐蝕試験

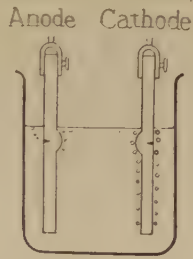
H₂SO₄ 及 Strauss solution を供試液として試験片の腐蝕的傾向を確かめた。

硫酸水溶液に於ける場合

A~F 試験片の各 3 者の熔接部の腐蝕試験を行つてその腐蝕性についての優劣を判定した。硫酸水溶液は 5%



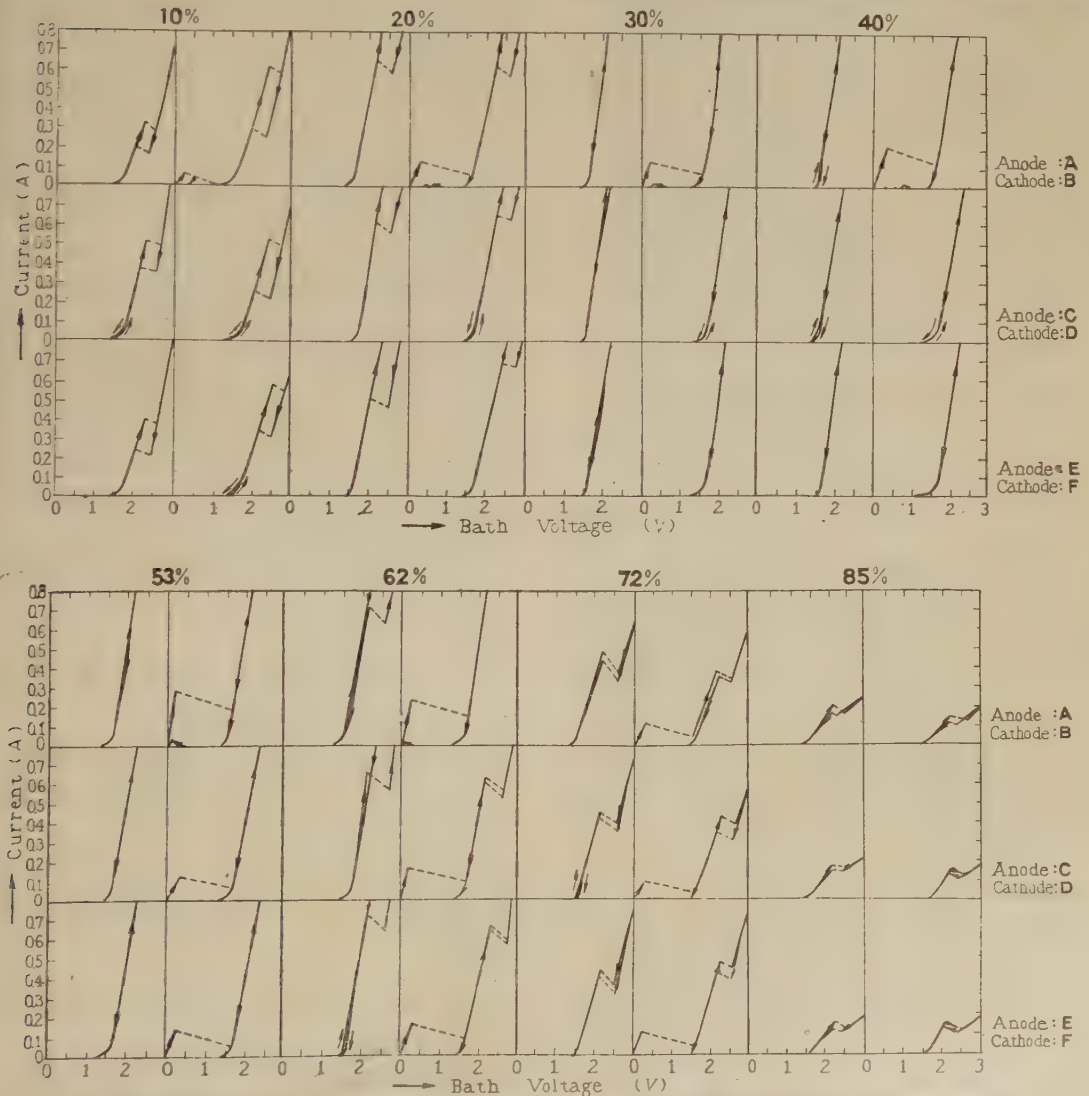
第2図 A-V 曲線
(6% H_2SO_4 溶液)



第3図
電極の浸漬状態

から 2.5% 間隔で 90%迄の A-V 曲線を測定した。
(硫酸の濃度変化 35種…各々 3種の供試片に対し溶接部の有無部分の試験により作製 A-V 曲線は総計 210 曲線) その一部を示めせば第4図の如くなる。猶溶接部を有する部分の浸漬面積も 0.1dm^2 として示めた。次に 0.1V に於ける電流密度 (1dm^2) を示めせば第1表の如くなり、第5図に溶接部を有する3種類に就いて横に硫酸の濃度変化、縦に電流密度を以て図示した。

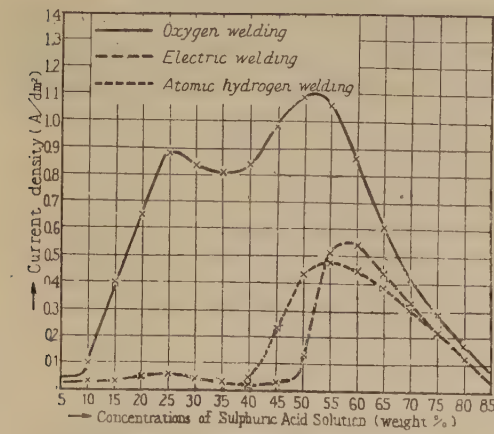
即ち酸素溶接は電気及水素原子溶接に比較して腐蝕性が大であつて溶接衰弱を起し易い。後二者はある濃度の硫酸に対しては腐蝕されるが、略母材の不銹鋼と同程度



第4図 各濃度の H_2SO_4 水溶液における 18-8 不銹鋼の A-V 曲線 (各濃度に於て左図は溶接部分のない試験片によるもの、右図は溶接部を有する試験片によるもの)

第 1 表 浴電圧 0.1V における電流密度 (A/dm²)

H ₂ SO ₄ (濃度%)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	81
酸素溶接	0.050	0.100	0.400	0.660	0.884	0.840	0.814	0.842	0.990	1.092	1.062	0.845	0.601	0.418	0.285	0.165	0.080
電気溶接	0.023	0.037	0.043	0.057	0.065	0.050	0.034	0.025	0.037	0.140	0.515	0.550	0.438	0.325	0.220	0.125	0.040
水素原子溶接	0.023	0.037	0.043	0.057	0.065	0.050	0.084	0.050	0.230	0.432	0.485	0.450	0.390	0.310	0.220	0.125	0.040



第 5 図 硫酸濃度-電流密度曲線

(Blank test では 0.1V で殆んど 0A である)

の耐蝕性を有するものとして極めて優秀である。猶、電気溶接は水素原子溶接に較べて稍耐蝕性が良好である。酸素溶接を有するもの、A-V 測定中の現象変化は次の如く観察される。

5%-H₂SO₄ 水溶液

試験片を液に浸漬すれば直ちに 0.004A を示めして両極の溶接部より瓦斯気泡が発生し浴電圧を 0.5V(0.01A) に高めると陽極溶接部の瓦斯は中絶し電流降下浴電圧上昇の急激な変化を示して電流は通じなくなる。浸漬直後発生する瓦斯気泡は置換作用による水素瓦斯であつて Strauss-solution 中で測定する時にはこの部分に銅の析出が見られる。故にこの溶接部は材質の不均一によつて鉄の露出部分が浸蝕され電池を構成しているものと見做される。

浴電圧を 1.40V に高めれば液の電気分解によつて陰極の全面より瓦斯気泡が発生し、(2H⁺+2e⁻→H₂↑, SO₄+H₂O=H₂SO₄+O) 電流は浴電圧に比例して増大し 2.25V に達すれば再び電流下降浴電圧上昇の急激な変化を示めして陽極より瓦斯が発生する様になり電流は浴電圧に比例して増す。3.0V に達して浴電圧を降下する時は 2.26V に於いて発生している陽極の瓦斯は中絶し、

電流上昇浴電圧降下の急激な変化をする。更に浴電圧を低下せしめれば前の曲線と同経路をへて 1.40V に達し陰極からの瓦斯は中絶し電流は極めて微弱となるが 0V に達して再び 0.003A の電流を通じ両極の溶接部から瓦斯気泡が発生する様になる。

試験後の液は僅かに薄黄色を呈するから試験を行うたびに新たな液に換えた。

10%-H₂SO₄ 水溶液

5%-H₂SO₄ 水溶液より更に腐蝕が高まり受働態性を減じ試験後の液は薄黄色を増す。浸漬のみで 0.005A を示めし溶接部のみより瓦斯気泡が発生し 0.2V に達すれば電流浴電圧の瞬間的の変化で陽極の瓦斯は中絶し 1.40V に達すれば電気分解に伴つて陰極に瓦斯が発生し電流の高まりは 2.38V に於いて降下し陽極に瓦斯が発生する如くなる。3.0V から浴電圧を降下せしむる場合には 2.37V に於いて電流は瞬時に高まり陽極からの瓦斯を中絶し浴電圧を低下せしめて 1.40V に至れば陰極の瓦斯は中絶し電流は微弱となるが浴電圧が 0.7V に達すると電流が再度上昇して、0.5V となり 0.0043A を示めす如くなる。浴電圧を低下せしめて 0V に至れば尚 0.0025A を示めす。

Strauss-solution (10%-CuSO₄·5H₂O を溶解せる 10%H₂SO₄) に於ける場合

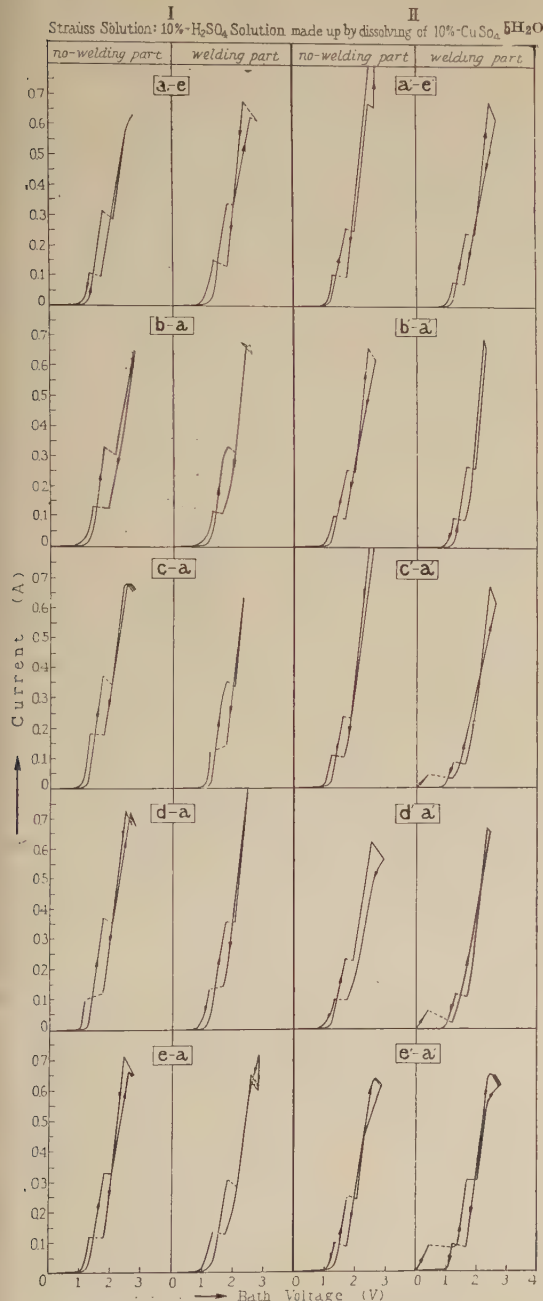
水素原子溶接を施してある a~e, a'~e' を試験片として、18-8 不銹鋼と水素原子溶接部の腐蝕の傾向を A-V 曲線によつて比較した。

硫酸水溶液に於ける試験からも明白なる如く水素原子溶接は酸素溶接に較べて遙かに大なる耐蝕性を有するものである。但し尚溶接部分の材質の不均一による局部的腐蝕がある。そこで同一材料、同一条件によつて作られた a~e, a'~e' 試験片について測定をなし腐蝕の傾向を確かめて耐蝕性の順位を決定した。

第 6 図に示めされる様に a'~e' は a~e の試験片に較べて腐蝕性が大であり c', d', e' 溶接部の腐蝕性は特に著しい。左図と右図は 20cm² の同浸漬表面積にて

示めた。

18-3 不銹鋼は Strauss-solution に自ら溶出する傾向は認められないか又は微量にして液の電気分解に達す



第6図 Strauss solution 中に於ける 18-3 不銹鋼及び水素原子熔接のある 18-3 不銹鋼の A-V 曲線
(試験片符号の左測が陽極、右測が陰極である)

る迄の電流は極めて微弱で最初より受働態性を示めす。この場合不均一性によつて露出された鉄があれば溶液中の銅の置換作用によつて溶出し、銅が析出して電流は高まる。

受働態性を有する試験片を陽極として浴電圧を除々に上昇せしめると、ある浴電圧に至つて電流が急激に上昇し Strauss solution の電気分解がもたらされる。電解するに必要な浴電圧の最小値は分解電圧にして略 1.2 Volt である。

硫酸銅が電解すれば液中の銅が陰極に析出し陽極は光沢を失つて曇りを生じ、浴電圧をひきつぎ高めれば電流降下浴電圧上昇の急激な変化をともし陽極表面に瓦斯気泡を発生する。但し陰極表面に於ける瓦斯気泡の発生は更に高い浴電圧を必要とする。浴電圧を低下せしめる場合にはある浴電圧に於いて割合に緩慢な電流上昇浴電圧降下の変化を示めす。

18-3 不銹鋼の耐酸性は合金成分として含有するクロムの保護的酸化物皮覆によつてニッケルの受働態性を更に助長し、材質が均一なる結晶組織をなし実用的な金属材料としての耐酸性を示めすが、不均一合金部分に作用する局部的腐蝕、熔接部と母体との材質的差異による局部的腐蝕又結晶粒間に炭化物を析出することによつて生ずる結晶粒間腐蝕等の問題がある。材質の腐蝕的傾向は A-V 曲線より陽極とする金属の溶出速度の大きさと共に電流の通過量が高まる事によつて確かめられる。溶出し難い金属を陽極とすれば液の電気分解のもたらされない限り電流は認められないか或は微量である。即ち分解電圧に達しないかぎり電流の通過は陽極とする金属の溶解にすぎない。全く不溶解性である金属があるとすれば液の電気分解に必要な浴電圧に達しないかぎり電流を生じないものと考えられる。かくの如く考察すれば残余電流は陽極の緩慢なる溶出速度を示めすべきものであるから寧ろ陽極の溶弱電流と解すべきであろう。この場合 Blank test を前もつて行つておくことは当然である。

残余電流の僅少な電流の流れは微弱なる陽極溶解を示し逐次イオン化し易い金属によつて試験する事によつて電流は次第に大となり残余電流が本電流の如くなる様になれば陽極は著しく溶解する。例えば陽極とする金属の溶解の割合を 0.5 Volt に於ける電流密度 (A/cm^2) をもつて 6%- H_2SO_4 水溶液について測定した結果は第2表の如くである。所定侵蝕液についてのこの様な腐蝕的傾向の順位は浸漬試験の結果とも略合致する。

残余電流は又電圧計を流れている電流も示めされるから Blank test を最初に行つた。

第2表 R. G. Y. 腐蝕試験法による腐蝕の傾向
(浴電圧 0.5V における A/cm²)

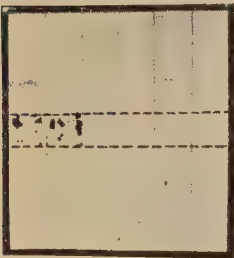
Metal	Ampere
Zn	0.1454
Fe	0.0938
Ni	0.0107
Sn	0.0005
Cu	0.0004
Al, Au, Pt	0
* W, Si, Ta	0
18-8 stainless steel	0

*配線方向の電流通過がない。

(2) FerroxyI 試験

A~F 及 a~e, a'~e' の各試験片について FerroxyI 試験を行つた結果は第 7

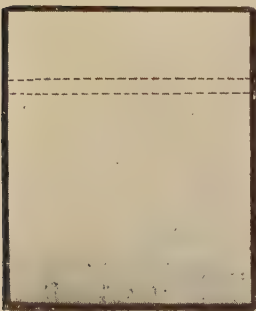
A B C D E F



19 21 0 0 0 0
number of spots
(welding part)
(実物は 6×6.4cm)

第7図

a b c d e



0.07
number of spots
(welding part)

(実物は 11×12cm)
第8図

~11 図の如くである。

第7図に見る如く酸素
熔接部分の斑点は最も著
しく電気熔接・水素原子
熔接部分には殆んど斑点
を示めていない。即ち
R. G. Y. 腐蝕試験に基く
腐蝕性の決定とよく合致
し電気熔接及水素原子熔
接の優秀性を示めてい
る。

第 8, 9 図は 18-8 不
銹鋼に各々一様なる水素
原子熔接を施したものに
ついて耐蝕性の優劣を判
断したるものである。

第 8 図に示めされる斑
点状況は R. G. Y. 腐蝕
試験の結果によつても明
白なる如く略完全な耐蝕
性を有するものであるか
ら全体の斑点数は極めて
少ない。

第 9 図は同じ水素原子
熔接を施したものである
が熔接部分の腐蝕性を
有する。R. G. Y. 腐蝕試

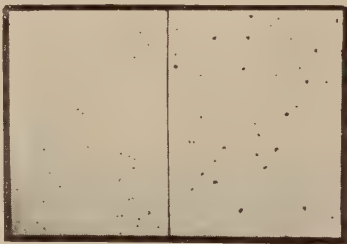
験の結果によつて耐
蝕性の順位を決定
し、次に FerroxyI
試験を行つた結果は
R. G. Y. 腐蝕試験の
場合の順位とよく合
致している。

以上の試験結果は
R. G. Y. 腐蝕試験に
よる結果と比較して
極めてよく一致する
事から 18-8 不銹鋼
及その熔接部の腐蝕

的傾向の判定に極めて有意義であり、迅速なる腐蝕試験
法として充分に価値づけられるものと断定した。

FerroxyI 試験は材質腐蝕の可能性を知り材質の不
均一部分を明瞭に発見し局部的腐蝕の位置を決定してこれ
らの結果を着色斑点として濃紙に移し腐蝕性の記録とし
て保存し得るところに特色がある。

(the outside) (the inside)

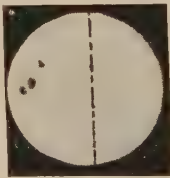


0.33 0.30
number of spots

第10図 (実物は 20×30cm)

猶第10図は 18-8 不銹鋼板の全面について FerroxyI
試験を行つたもので局部的腐蝕
部分を発見し表部(仕上研磨し
たる表面)と裏部(研磨を施さ
ず凸凹を有する表面)の腐蝕性
を比較した。

第11図は水素原子熔接をなし
た 18-3 不銹鋼熔接管の腐蝕性
を確かめたものであるが、この
熔接部は母体と同一の耐蝕性を
有するものとして極めて良好で
あるものと判定出来る。



0.30
number of spots
(実物は 12.5cm²)

点線の右端が
熔接部

第11図

偏微分方程式の電子計算法¹⁾

(その 1: 楕円型方程式の coding)

(1952 年 4 月 10 日受理)

武 田 楠 雄*

Codings of Partial Differential Equations.

By Kusuo TAKEDA

In this preliminary paper, the authors introduce a method of coding the partial differential equation (elliptic type) with simple boundary condition in the electronic digital computer, and explain how it differs from that of the human computer.

閉曲線 S でかこまれた領域に於て楕円型偏微分方程式

$$\Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

又は

$$\Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = f(x, y) \quad (2)$$

を与え、 S の値を既知としてこの方程式を解くことを考える。 S の形の与え方又は $f(x, y)$ の形の与え方によつては解析的手段で解くことは容易には出来ないから問題は数値解法に頼る他はなくなることが多い。この傾向は上掲の式が少しく一般になつた場合、すなわち

$$a(x, y) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + b(x, y) \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + c(x, y) \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = f(x, y) \quad (3)$$

のような式になると更に大きくなる。ところが、この具体的解法として在来の人間計算機²⁾時代の解法に依れば、例えば L. Collatz が 1930 年代後半に行つた研究 (例えば [1]³⁾) の如く、偏微分方程式に階差法を適用するに当つて mesh の数をなるべく減らして精度を上げようというような傾向に進んでいたのである。ところが、一般に、偏微分方程式の数値解法というものは、なかなか大変なもので、とすれば人間の計算能力の生理的限界を超える、1938 年に G. H. Shortley が Laplace 方程式に関する論文 [2] のなかで、従来実際問題に関する数値解法の適用は殆んどなかつたで

はないか、と云つているのはすこぶる痛烈な批判である。もちろん数値解法自体は Richardson (1911), Liebmann (1918) 等の研究以来知られている事柄であるが、何分莫大な計算量の処理がつねにその実施をそ害していた事は否定出来ない、そこで人間計算機に代つて、第二次大戦中から、巨大な計算機械の一群、例えば V. Bush の微分解析機第 2 号機 (1942) [3], California 大学の大型相似機 CIT (1948) [4], V. Paschkis の建設した HMFA 機 (1947) [5], 乃至は電子数字計算機 (俗称電子計算機) 第 1 機 ENIAC (1946) [6] 等の登場を見たのである⁴⁾。上記 (1), (2), (3) の如きものの相似解法 (広義に解して微分解析機, 電気相似機を含む) は極めて興味あるものであり、しかも相似機の最も得意とするところである事は、例えば McCann が振り振動を取扱つた手法 [7] に見るも明かである。しかし数字機による解法も素より独特の利点があり、この場合の自効機への計算指令法が coding である。方程式 (1) 乃至 (2) の場合は簡単で (1) については F. E. Synder がこれを発表している [8]。そこで今改めて

$$4\Delta u = \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 u}{\partial y^4} = f(x, y) \quad (4)$$

又は

$$a(x, y) \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + b(x, y) \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial y^2} + c(x, y) \frac{\partial^4 u}{\partial y^4} = f(x, y) \quad (5)$$

を考へて見よう。もとより coding そのものに於ては

* 工学部専任講師。

1) くわしく云えば「自効電子数字計算法」を指す。

2) human computer, 人間の生理的計算能力と机上用小型計算器の綜合体。

3) 文中の [] は文末の参考文献番号を示す。

4) これらに関しては多くの文献があるが、本文の目的ではないから唯一つづゝあげておく。

(1),(2),(3) と (4),(5) との間に本質的の相違のあるわけではない。しかし既に D. R. Hartree も注意しているように [9] 第 9 章) 自仿電子数字計算法は従来の人間計算機用のものと自ら異り、又独自の発達を遂げようとしている。その例は、例えば常微分方程式に於ては Gill の取扱つた連立常微分方程式の coding の一例を見てもわかる [10]。人間計算機用の数値解法の指針がそのまま電子計算機用数値解法の指令として最適であるとはいえないのである。

いまこのことを例を方程式 (4) にとつて調べて見よう。領域 S を縦横とも h の mesh に分け、その一般の mesh (m, n) について最簡の階差法近似を適用すれば周知の如く

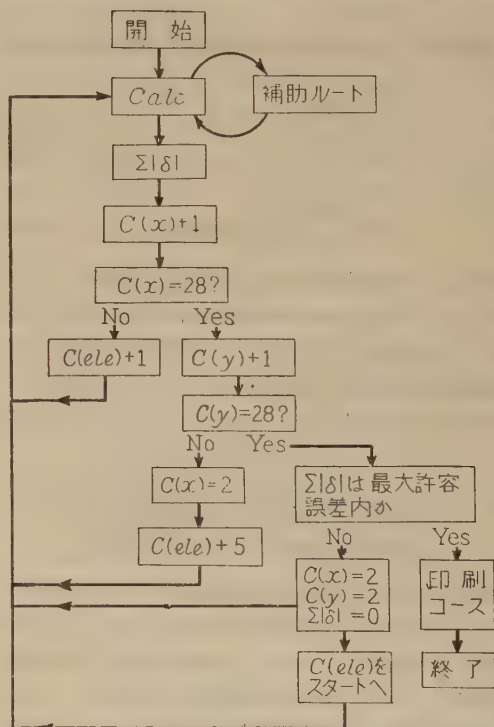
$$20u(m, n) - 8[u(m+1, n) + u(m, n+1) + u(m-1, n) + u(m, n-1)] + 2[u(m+1, n+1) + u(m+1, n-1) + u(m-1, n+1) + u(m-1, n-1)] + u(m+2, n) + u(m, n+2) + u(m-2, n) + u(m, n-2) = h^4 f[C(x), C(y)] \quad (6)$$

となる。ただしここで $C(x), C(y)$ は mesh (m, n) に於ける x 座標, y 座標の値を示す (厳密に云えば、後の記法に従えば, $C(x)h, C(y)h$ が x 座標, y 座標であるがこのように略記した)。式 (6) は式 (4) の最簡易な階差法であつて、人間計算機の場合には更に収斂のよい方法——従つてより複雑な形式を撰ぶべきであるが (その公式については例へば [11] 参照)、電子計算法の場合にはそれはいたづらに coding を複雑ならしめるだけでなく、更にまた電子計算法に於ては人間は計算労力からは開放されているのであるから、「繰かへし」、H. Rutishauser のいわゆる Umlauf [12] はいくらでもさせられる。この意味で (6) を採用すべきである。この場合領域を矩形とすれば (一般の場合はあとで述べる) その二辺を x 軸, y 軸にとつても一般性を失わないから、そのように撰び、かつ説明の便宜上正方形とし⁵⁾、更に分点の数を (周辺をも込めて) 28 とし⁶⁾ ておく。このとき mesh の数は周辺を含めて 784 となるが方程式 (6) で示されているように、このとき周辺の外側の行と別に更に適当な数を与えておかねばならないから、いま第 1 表に示すように貯蔵宛名 100—999 をとり、131, 132, ..., 158; 161, 188; ..., 941, 942, ..., 968 を周辺 S の宛名とし、102,

第 1 表 式 (6) に関する数字貯蔵の解説

100	101	102	103	104	.....	127	128	129
130	131	132	133	134	.....	157	158	159
160	161	162	163	164	.....	187	188	189
190	191	192	193	194	.....		
							
910					.....			939
940	941	942	943	944	.....	967	968	969
970	971	972	973	974	.....	997	998	999

第 2 表 式 (6) の flow system



103, ..., 127; 160, 189; ..., 910, 939; 972, 973, ..., 997 をその外側に与うべき数の宛名とする。このとき計算は宛名 162 より開始すべきでありその flow system は第 2 表のようになる。ただし、ここで Calc とは式 (6) で与えられる計算の指令を意味し、補助ルートは $h^4 f[C(x), C(y)]$ の計算ルートを示す。こ

5) すでに矩形をとつた以上これは問題の特殊化ではない。

6) この個数は機の貯蔵容量、外部貯蔵を使用するか否か、乃至は問題の要求する精密度によつて決まるが、coding 自体には格別の変化はない。

7) 補助ルートについては [12], [13] 参照。

に $C(x), C(y)$ を電子計算法の coding に於ては x のカウント, y のカウントと称する. また $\sum |\delta|$ は前回計算との各個の差 δ の絶対値の総和を示し, $C(ele)$ とは指令中変数宛名を示すものとし, $C(ele)+1, C(ele)+5$ などはこの変数宛名の番号に夫々 1 又は 5 を加えるものとする⁹⁾. その具体的ことは後述する「主プログラム」(第7表)を参照されたい.

さてこれだけであれば問題は簡単であるが, ここに興味のあることは, 従来の人間計算機用計算に於ては, Marcus (1919) が初めて用い, F. Wolf がその実例を示した [14] のように, 式 (4) の数値解法に当つて補助変数 v を用いてこれを

$$\Delta u = v, \quad \Delta v = f(x, y). \quad (7)$$

と変形し, 従つて

$$u(m+1, n) + u(m, n+1) + u(m-1, n) + u(m, n-1) - 4u(m, n) = v(m, n), \quad (8)$$

$$v(m+1, n) + v(m, n+1) + v(m-1, n) + v(m, n-1) - 4v(m, n) = h^4 f[C(x), C(y)] \quad (9)$$

を用いる方が計算が楽である⁹⁾. しかし電子計算法になると事情は全く変つて, この場合は甚だ多くの貯蔵容量を必要とする. 主プログラムに於て相当数の差(例えば 2 宛各方式で数十の差)を両者の間に生ずるが, それよりも更に面倒なことは, 後者の方法によると u 平面(即ち u 貯蔵宛名)の外に新たに v 平面(即ち v 貯蔵宛名)を必要とするから, もし上述の如く一辺を 28 に区分した mesh を使う場合には貯蔵容量は概数 2000 を要し, 前者の場合の約倍となる¹⁰⁾. 実際——説明を簡単にする目的で—— $u(m, n)$ に対応する $v(m, n)$ の宛名番号を前者より 1000 番多いものとして説明すれば, (8), (9) より明かに

$$(1131) = (0101) + (0130) + (0132) + (0161) - 4(0131), \quad (10)$$

$$(1162) = \frac{1}{4}[(1132) + (1161) + (1163) + (1192) + h^2 f[C(1), C(1)]], \quad (11)$$

$$(0162) = \frac{1}{4}[(0132) + (0161) + (0163) + (0192) - (1162)] \quad (12)$$

の計算を反覆することになり, しかも v 貯蔵に於ては式 (10) は外側, 式 (11) は内部について計算を要す

るから指令も面倒となり, 第3表に示すような形式が一つの見本となる. これが第2表に示す flow system より甚だ複雑であることは言を俟たない.

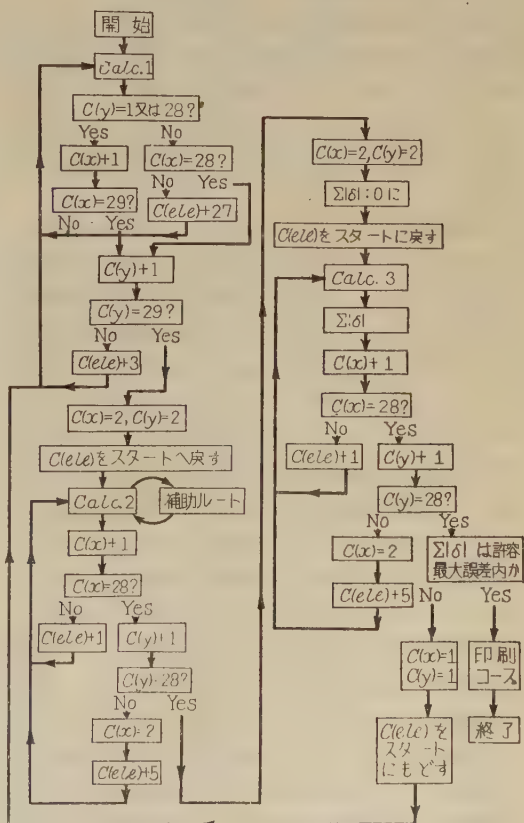
なお第2表及び第3表に与えた flow system による具体的なプログラムを述べる事は興味ある事柄であるが, 紙数の関係でここでは割愛する.

以上を緒言とし, 次で今改めて

$$a(x, y) \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + b(x, y) \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial y^2} + c(x, y) \frac{\partial^4 u}{\partial y^4} = f(x, y) \quad (13)$$

を与え, その領域を任意の単一閉曲線 S で囲まれたものとし, 周辺 S 上の値が与えられたものとして, その電子計算法を考えて見よう. この式の近似階差式は

第3表 式(8)の flow system



8) また x 及び y のカウントは表1の 100, 101, 102, 103, ..., 129 等の行に於ては x について 0, 1, 2, ..., 29 と番号をつけ, 100, 130, 160, ..., 970 等の列に於ては y について 0, 1, 2, ..., 29 と番号をつける.

9) 式 (8), (9) が式 (6) と等価であることは自明で, また直接算術的にも検証し得る.

10) 著者の試みた coding によれば主プログラムは (常数貯蔵を込めて) 2 宛各形式で 134 を要した. (入力コースを含む).

$$(0, 0) = \frac{1}{6a + 4b + 6c}$$

$$\begin{aligned} & \times a \cdot \{4(1, 0) + 4(1, 0) - (2, 0) - (-2, 0)\} \\ & + b \cdot \{2[(1, 0) + (0, 1) + (-1, 0) + (0, -1)] \\ & \quad - (1, 1) - (1, -1) - (-1, 1) - (-1, -1)\} \\ & + c \cdot \{4(0, 1) + 4(0, -1) - (0, 2) - (0, -2)\} \\ & + h^4 f \end{aligned} \quad (14)$$

と書くことが出来る。ただし式を簡単にするために、今までの $u(m, n)$ に対応する記号として $(0, 0)$ を用いた。方程式 (13) 又は (14) から見て明かなように、このとき、もし領域を前述のように矩形であるとし、

従つて x, y 軸をこの矩形の二辺に撰ぶならば、その flow system はほとんど第2表と変るところはなく、ただ第2表に於ける Calc が式(6)から式(14)に変わり、また第2表の補助ルート (それは $h^4 f(x, y)$ の計算をする) の他に新たに $a(x, y), b(x, y),$

$c(x, y)$ の計算をする三つの補助ルートが Calc. に附随する相違があるだけである。そこで問題の焦点は領域の形という事になる。

19 世紀のポテンシャル論で華やかな話題を投げた古典的の二次元のラプラス方程式 (1) から上述の式 (13) などに於ても、実際の工学上乃至軍事用の目的に強く要求せられるのは、領域の形がある具体的な要求によつて与えられる場合である。これが解決策としての相似法は L. Prandtl [15] の研究 (1903) から既に 50 年の歴史をもつ。一方人間計算機に於ける数値計算法に於ては、脳細胞の指令で眼を適当に転ずるだけでこの不規則性が処理出来るから大した困難を感じない。しかし「規則性」と「繰返し」を得意とする電子計算法に於ては、領域の不規則性は甚だ手痛いのである。もちろん矩形以外の形状でも初等幾何学的に極めて簡単な形をもつ場合は割合に処理しやすいが、上記の工業上の要求などの実態では、つねにこのような幸運を期待する事は出来ない。従つてここではその形状は「任意」とし、それを x 軸、 y 軸の平行線で包絡した矩形をつくり、その二辺を x 軸、 y 軸にとり¹¹⁾、かつ領域を第一象限にもち来しておくことにして問題を考えよう。

簡単のため包絡した矩形に於て m は上述と同じく

第4表 式 (14) の数字貯蔵宛名の解説

x のカウント	0	1	2	3	4	5	6	7	.....	26	27	28	29
y のカウント	0	200	201	202	203	204	205	206	207	226	227	228	229
1	230	231	232	233	234	235	236	237	.....	256	257	258	259
2	260	261	262	263	246	265	266	267	.....	286	287	288	289
3	← 290	291	← 292	293	→ 294	295	296	297	.....	← 216	→ 317	← 318	→ 319
4	← 320		← 292		→					←		← 318	→	
5	350													
6	380													
7	410	411	412	413	414									
8	440	441	442	443	444	.....				466	467	468	469
9	470	471	472	473	474	.....				496	497	498	499
10	500	501	502	503	504	.....				526	527	528	529

28, n は 9 であるとし、これが第4表で示すように宛名 231, 258, 471, 498 で作る矩形で図式的に示せるとする。さて第4表に於てその上部の形が表示するように 234, ..., 256; 264, ..., 286 となつているときには、265 から計算を初めるべきであるから 260 から 264 までの mesh の個数 5 を一般には l_2 とし、また 286 から 289 までの mesh の個数 4 を一般には k_2 で示す。これは y のカウントの 2 なる行の事で次行 (y カウント 3) に於ては l_3, k_3 とする。以下同様である。いまその貯蔵宛名を 2 宛名形式¹²⁾を用いて第5表のようにとる。

第5表 「形状修正」 指令用数字貯蔵

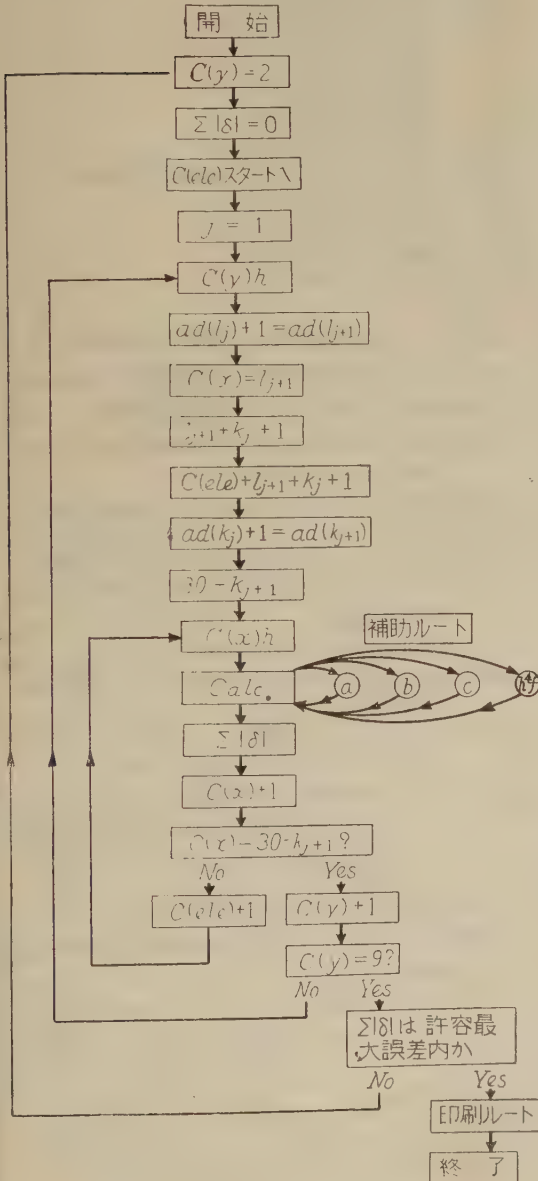
宛名	指 令	宛名	指 令	備考
0530	l_2 l_2	0544	k_1 k_1	=0
...	...	0545	k_2 k_2	
0536	l_8 l_8	...	...
0537	000000 l_2	0551	k_8 k_8	
...	...	0552	000000 k_1	=0
0543	000000 l_8	0553	000000 k_2	
		
		0559	000000 k_8	

11) この制限は本質的なものではない。この「平行移動」が利かぬときは x 及び y のカウントを多少工夫すれば容易に coding し得る。

12) [8] 参照。

かようにして得られる「形状修正用」とも云うべき (l_j, k_j) に於て j を y カウントの番号とすれば coding の一つの flow system は第6表のように表わされ、また UNIVAC 式の coding 法を採用するとすればその主プログラムの一つの形式は第7表で与えられる。第6表中 $ad(l_j)$ は l_j の宛名を示す。

第6表 不規則な周辺をもち、その上の値が与えられているときの式 (13) の電子計算用 flow system の一例



第7表 プログラムの一形態

宛名	指 令	説 明
0000	} 入力コース
0004		
0005	L0131 M0138	} C(y)h
0006	C0140 000000	
0007	(A0537) C0130	} C(x)=(l ₂)
0008	(A0530 A0544)	
0009	A0132 C0141	} (l ₂)+(k ₁)+1, 2 宛名形式
0010	(A0537 A0552)	
0011	A0133 C0142	} (l ₂)+(k ₁)+1, 1 宛名形式
0012	A0039 A0141	
0013	C0039 X0000	} C(ele)+(l ₂)+(k ₁)+1 の計算. すなわち一つの行から次の行にうつるときの純計算用の変数指令の宛名の変更の計算である.
0014	A0041 C0041	
0015	A0044 A0141	
0016	C0044 X0000	
0017	A0045 C0045	
0018	A0047 A0141	
0019	C0047 X0000	
0020	A0048 C0048	
0021	A0051 A0141	
0022	C0051 X0000	
0023	A0053 C0053	} 30-(k ₂)
0024	A0065 A0142	
0025	C0065 X0000	} C(x)h
0026	A0068 C0068	
0027	A0137 (S0533)	} 補助ルート呼出, a 製作のルート
0028	C0153 000000	
0029	L0130 M0138	} 補助ルート呼出, b 製作のルート
0030	C0139 000000	
0031	A0031 000000	} 補助ルート呼出, c 製作のルート
0032	U α 000000	
0033	A0033 000000	} 補助ルート呼出, h ⁴ f 製作のルート
0034	U β 000000	
0035	A0035 000000	} 補助ルート呼出, h ⁴ f 製作のルート
0036	U γ 000000	
0037	A0037 000000	} 補助ルート呼出, h ⁴ f 製作のルート
0038	U δ 000000	
0039	(A0261 A0259)	} Calc.
0040	A20000 000000	
0041	(S0262 S0258)	} 式 (14) で与えられる計算を行う.
0042	K0000 M0120	
0043	C0123 000000	} Calc.
0044	(A0202 A0291)	
0045	(A0260 A0231)	} 式 (14) で与えられる計算を行う.
0046	A10000 10000	
0047	(S0290 S0232)	} Calc.
0048	(S0230 S0292)	
0049	K0000 M0121	} 式 (14) で与えられる計算を行う.
0050	C0124 000000	
0051	(A0291 A0231)	} Calc.
0052	A20000 000000	
0053	(S0211 S0201)	} 式 (14) で与えられる計算を行う.
0054	K0000 M0122	
0055	C0125 000000	} Calc.
0056	A0120 A0122	
0057	K0000 M0126	} 式 (14) で与えられる計算を行う.
0058	A30000 C0120	
0059	A0121 A20000	} Calc.
0060	A0120 K0000	
0061	D0000 C0120	} 式 (14) で与えられる計算を行う.
0062	A0123 A0124	
0063	A0125 A0126	} Calc.
0064	K0000 M0120	
0065	H0121 (S0261)	} 式 (14) で与えられる計算を行う.
0066	A10000 -10000	
0067	A0128 C0128	} Calc.
0068	A0121 (C0260)	

0069	A0180	A0133	$C(x)+1$	0132	000001	000001	} 常数.
0070	L0153	Q0083	$C(x)=30-(k_2)^2$	0133	000000	000001	
0071	C0130	000000		0134	000001	000000	
0072	A0039	A0131		0135	000000	000002	
0073	C0039	X0000		0136	000000	000009	
0074	A0041	C0041		0137	000000	000030	} mesh の巾. $C(x)h$ $C(y)h$
0075	A0044	A0132		0138	000000	h	
0076	C0044	X0000		0139			
0077	A0045	C0045		0140			} スターター
0078	A0047	A0132	$C(ele)+1$	0141	$(l_2)+(k_1)+1$		
0079	C0047	X0000	計算用の各「変数指令」に	0142	$(l_2)+(k_1)+1$		
0080	A0048	C0048	それぞれ1を加える。ただ		$(l_2)+(k_1)+1$		
0081	A0051	A0132	し、行は変らないから、そ	0143	A0261	A0259	
0082	C0051	X0000	れに関連する変数指令は変	0144	S0262	S0258	} スターター
0083	A0053	C0053	らない。	0145	A0201	A0290	
0084	A0065	A0133		0146	A0259	A0230	
0085	C0065	X0000		0147	S0289	S0231	
0086	A0068	C0068		0148	S0229	S0291	
0087	000000	U0029		0149	A0290	A0230	} 30-(k ₂), 行の終端のカウ ント.
0088	B0131	A0133	$C(y)+1$	0150	S0210	S0200	
0089	L0136	Q0098	$C(y)=9?$	0151	H0121	S0260	
0090	C0131	000000		0152	A0121	C0260	
0091	A0007	A0134		0153			
0092	C0007	A0008	$j+1$ の計算	0154	A0537	C0130	} スターター
0093	A0012	C0008	行が変ることに関連する指	0155	A0530	A0544	
0094	X0000	A0010	令の宛名変更。	0156	A0537	A0552	
0095	C0010	A0027		0157	A0137	S0554	
0096	A0133	C0027		0158	F0002	000000	
0097	000000	U0005					
0098	B0128	L0129					
0099	000000	T0117					
0100	B0135	C0131	$C(y)=2$				
0101	C0128	000000	$\Sigma|\delta|=0$				
0102	A0143	C0039					
0103	A0144	C0041					
0104	A0145	C0044					
0105	A0146	C0045					
0106	A0147	C0047					
0107	A0148	C0048					
0108	A0149	C0051	各 element をもとへ戻す				
0109	A0150	C0053					
0110	A0151	C0065					
0111	A0152	C0068					
0112	A0154	C0007					
0113	A0155	C0008					
0114	A0156	C0010					
0115	A0157	C0027					
0116	000000	U0005					
0117	A0117	000000	印刷ルート呼出。				
0118	U	ε					
0119	000000	400000	計算終了、機は停止。				
0120			a の貯蔵 其他				
0121			b の貯蔵 其他				
0122			c の貯蔵				
0123			$a[4(261)+4(259)-(262)$				
0124			下記註 ¹³⁾ $-(258)]$				
0125			$e[4(290)+4(230)-(210)$				
0126			$h^4 f$ の貯蔵 $-(200)]$				
0127			6/8				
0128	(000000 000000)		$\Sigma|\delta|$				
0129			許容最大誤差				
0130	(000000 000000)		x のカウント, 初め 0 を与えておく。				
0131	(000000 000002)		y のカウント, 初め 2 を与えておく。				

表中 () で示した指令は表中にある別の指令によつて逐次変更される「変数指令」である。また本表に使用した指令文字は次のような意味をもつ¹⁴⁾。

- Am (m) を (A) に加えよ。結果は (A) にある。
(A) は加算器の内容の意¹⁵⁾。
- Bm まづ (A) を空にしてから (m) を (A) に加えよ。
- Cm (A) の内容を (m) に移せ。(A) は空となる。
- Hm (A) の内容を (m) に移せ。(A) のそのまゝ。
- Km (A) の内容を (L) レジスターにうつせ。(詳細 [8] 参照)。
- Lm (m) を (L) レジスターにうつせ。
- Mm (m) を (L) レジスターにある数にかけて結果を (A) におけ。
- Qm (A)=(L) なら指令を m に制御せよ。そうでないときは指令をすぐ次にうつせ。
- Sm (A) の内容から (m) を引け。結果は (A) に。
- Tm (A) が (L) より大きいかどうかを調べ、大きいならば指令を m にうつせ。そうでないときは指令をすぐ次にうつせ。
- Um 無条件で指令を m へうつせ。
- Xm 一つ前の指令をもう一度呼出せ (詳細は [8] 参照)。
- Δnm (A) の内容を n 桁左へうつせ。 m に関しない。
- $\cdot nm$ (A) の内容を n 桁右にうつせ。 m に関しない。

13) $b[2\{(201)+(290)+(259)+(230)\}-(289)-(231)-(229)-(291)]$

14) 説明中 (n) は貯蔵宛名が n の意味である。

15) このこと及び以下の詳説には [8] 参照。

4m 機の停止, m に関しない.

Dm 逆数をつくれ, m に関しない.

なお補助ルートに於ては, 例へば $a(x, y)$ については $a=0560$ とし, またこの補助ルートの指令数を仮りに 40 とすれば(これは函数 $a(x, y)$ の形が具体的に決まれば確立する)

0560	A0158	C0599	0158 の内容には F0002 が
...	.....		はいつている. 但しここで
0599	(	)	函数数字 F は $A+F=U$
			なる如くあらかじめつく
			られてあるものとする. この
			とき加算器内では——前述
			の指令 0031 に着目すれば
			A0031 000000
			F0002 000000
			が加算されて
			U0033 000000
			が出来, この指令が 0560 の
			後半の指令によつて 0599 に
			移されてるから, この補助
			ルートの完了後は自動的に
			0033 に戻されることになる.

他の補助ルートに於ても同様である. また 0005—0006, 0029—0030 に於て作る $C(y)h$, $C(x)h$ は——主計算に附帯する補助ルートが 4 つあるから——これをまとめて主プログラム中で計算しておいたのである.

以上で問題にして来た方程式 (13) の数値解法の最も基本的な場合の電子計算法を終える. 領域が矩形的の場合と不規則な場合に於ける電子計算法の比較(式中に x, y の函数がはいつているときはこの比較は面白い), 更には, 一般に, 偏微分方程式の電子計算法と内外部貯蔵容量, 従つて電子計算機の物理的機構の発展状態の展望¹⁶⁾, その関連に於て電子計算法に加えられる反省(これは重大である)などの問題がとり残されているが, 今回は紙数の関係で, 以上の外は全部割愛し, ただ次の二三の注意を述べておくにとどめる.

注意 1. 上述の主プログラムは論説を簡易ならしめるために, 変数指令変更用指令補助ルートを用いながつた. これを用いれば電子計算法に要する指令の個数をいちぢるしくへらす事が出来る. しかしこの頭初の論文に於ては, 「解説」を主とし「電子計算法の所要指令個数の問題」を主にしながつた. この点は特に注意しておく.

注意 2. 前注意に関連して——コード文字¹⁷⁾を用

いて指令を簡易化することもしながつた. コード文字を用いれば, プログラムの入力時に当つて指令製作をいちぢるしく簡易化する事が出来るけれども, その説明にもまた手間がかかるので, あえてここではそれを用いながつた. 主指令が 0005 から初まつて 0100 を超え, 他方数値貯蔵が 0100—0996 を占め, 100 代で重複しているけれども, これは一応の説明上にとつた貯蔵宛名であつて, 実際には, コード文字の使用によつて, 入力時機内には, 自的的に重複することなく, しかも容易に指令導入が出来るのであつて心配はいらない.

文 献

- [1] Collatz, L., Über das Differenzenverfahren bei Anfangswertproblemen partieller Differentialgleichungen, ZAMM, 16, 1936, 239—247.
- [2] Shortley, G. H. and Weller, R., Numerical Solution of Laplace's equation, J. App. Phys. 9, 1938, 334—348.
- [3] Bush, V. and Caldwell, S. H., New type of differential analyser, J. Frank. Inst., 240, 1945, 255—326.
- [4] McCann, G. D., The California Institute of Technology electric analog computer, MTAC, Oct. 1949, 501—512.
- [5] Paschkis, V., The heat and mass flow analyser,—a tool for heat research, Metal Progress, Nov. 1947. 813.
- [6] ENIAC: War Dept. unveils 18,000 tube robot calculator, Electro. Apr. 1946, 306.
- [7] McCann, G. D. and Wilts, C. H., Application of electric-analog computers to heat-transfer and fluid-flow problems, J. App. Mech. Sep. 1949, 247.
- [8] Synder, F. E. and Livingstone, H. M., Coding of a Laplace boundary value problem for the UNIVAC, MTAC, 3, 1949, 341—350.
- [9] Hartree, D. R., Calculating instruments and Machines, Cambridge, 1950.
- [10] Gill, S., A process for the step by step

16) 一般の史的展望については拙稿 [16] 参照.

17) Code letter.

integration of differential equations in an automatic digital Computing machine, Proc. Camb. Phil. Soc., Jan. 1951, 96-108.

[11] Schulz, G., Formelsammlung zur praktischen Mathematik, 1937 (Sammlung Goschen).

[12] Rutishauser, H., Programgesteuerte digitale Rechnengeräte (elektrische Rechenmaschinen), I. Teil, ZAMP, 1, 1950, 277; II Teil, ibid., 1, 1950, 339; III Teil, ibid, 2, 1951, 1; Schluss, ibid., 2, 1951, 63.

[13] Wheeler, D. J., Programme organization

and initial order for the EDSAC, Proc. Roy. Soc., 202, Aug. 1950, 573-589.

[14] Wolf, F., Über die angenährte numerische Berechnung harmonischer und biharmonischer Funktionen, ZAMM, 6. 1926, 118-150.

[15] Prandtl, L., Zur Torsion von prismatischen Stäben, Phys. Z., 1903, 758.

[16] 武田補雄, 電子計算法発生の意義 I. 科学史研究 (岩波書店) 22 号, 1952 年 5 月, p. 6-11., 同 II. 8 月, p. 6-11.

昭和27年10月20日印刷

昭和27年10月21日発行

発行者 日本大学工学研究所

東京都千代田区神田駿河台1丁目8番地

電話神田(25) 7141—7149

Published by: The Research Institute of
Technology, Nihon University.

Address: No. 8, 1-Chome, Surugadai,
Kanda, Chiyoda-ku, Tokyo.

印刷所 株式会社 国際文献印刷社

東京都千代田区富士見町1丁目10番地

印刷者 笠井 康 頼

東京都千代田区富士見町1丁目10番地

【非 売 品】

